

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky



Rušivé světlo v podmínkách ČR

Disertační práce

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Doktorský studijní program: Elektrotechnika, sdělovací a výpočetní technika (P2645)

Studijní obor: Elektroenergetika (3907V001)

Autor: Ing. František Dostál

Školitel: prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 31.3.2011

.....

Podpis

Poděkování

Za odborné vedení při řešení výzkumných grantů, za cenné rady a podnětné připomínky k mé disertační práci bych chtěl poděkovat svému školiteli prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. .

Také děkuji svým kolegům za spolupráci při jednotlivých měřeních. V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat svým rodičům za trpělivost a podporu při studiu.

Abstrakt

Disertační práce se zabývá problematikou rušivého světla v podmínkách České republiky. První část je věnována vymezení problematiky rušivého světla. Následující kapitola se zabývá předpisy a doporučeními v oblasti rušivého světla jakož jsou směrnice CIE či zákon č. 395/2005 Sb. a dále následuje část popisující zdroje rušivého světla z hlediska distribuce světelného toku. Čtvrtá kapitola vysvětluje problematiku kategorizace, jednak je to zvýšený jas oblohy zhoršující viditelnost kosmických těles a jevů ve vesmíru, následují různé formy oslnivého světla, světelný přesah - přesahující světlo osvětlující plochy mimo relevantní oblast narušující přirozený stav nočního prostředí a poslední kategorií jsou ztráty elektrické energie. Další část vysvětluje vazbu světelně-technických jednotek na astronomické. Sedmá část se věnuje fyzikálním a astronomickým metodám. Astronomické metody a postupy, které se používají k měření jasu „pozadí“ noční oblohy, vycházejí z metod běžně používaných při tzv. fotometrických měřeních jasnosti astronomických objektů. Tato kapitola obsahuje přehled metod od těch nejjednodušších, jež nekladou prakticky žádné nároky na pozorovací techniku a jsou založeny jen na určitých znalostech a zkušenostech pozorovatele, až po metody vyžadující použití optických systémů se CCD kamerou. Další kapitola řeší světelně-technické metody zjišťování jasů noční oblohy, ať už se jedná o měření osvětleností vyvolaných jasnou noční oblohou či přímé měření „kvality oblohy“ pomocí Unihedron – Sky Quality Meter (SQM). Meteorologické modely jsou popsány v deváté kapitole. Je zde popsán výpočet jasu oblohy v závislosti na přírodních podmínkách (astrofyzikálních) a na vyzařovaném světelném toku a také je zde provedena deskriptivní statistika naměřeného souboru nočních osvětleností. Tato kapitola obsahuje jeden z hlavních přínosů disertační práce, a to pětidílnou relativní stupnici rušivého světla noční oblohy. Další část se věnuje světlu vyzařovanému do horního poloprostoru a především sestavení průměrné křivky svítivosti a na základě takto vytvořené křivky určit podíl přímého světelného toku jdoucího z průměrného svítidla do horního poloprostoru.

Mezi další přínosy disertační práce patří jedenáctá část, která se zabývá praktickými experimenty, sloužícími pro ověření teoretických předpokladů a také statistické zpracování takto získaných dat a následné vyhodnocení statistické analýzy. Jde především o stanovení detailnější stupnice světelného znečištění noční oblohy a o stanovení podílu jednotlivých zdrojů rušivého světla.

Klíčová slova

Rušivé světlo, světelné znečištění, adaptace, clonění, činitel odrazu, činitel využití, horní účinnost, jas oblohy, jasnost, kontrast, oslnění, policejní hodina, světelný přesah, magnituda, veřejné osvětlení, záře oblohy

Abstract

The dissertation thesis deals with the interference of obtrusive light in the Czech Republic. The first part is devoted to defining the problem of obtrusive light. The following chapter deals with regulations and recommendations in sphere obtrusive light, which is contained in directions CIE or law number 395/2005 of collection and next part describes sources of obtrusive light with regard to distribution of light flux. The fourth chapter explains the problems of categorization, it is first increased brightness of the sky deteriorating visibility of space objects and phenomena in the universe, followed by various forms of bright light, a light interference - in excess of light to illuminate the area outside the relevant area of distorting the natural environment of the state overnight and last category is the loss of electricity. Another section explains the link-light engineering units to astronomical. The seventh section is devoted to physical and astronomical methods. Astronomical methods and procedures used to measure the brightness of the background of the "night sky, based on methods commonly used in so-called photometric brightness measurements of astronomical objects. This chapter provides an overview of the simplest methods, which practically do not put any demands on the observation technique and are based only on the specific knowledge and experience of the observer, to methods requiring the use of optical systems with CCD camera. The next chapter deals with lighting and technical methods for detecting the night sky brightness, whether the measurement of illuminance caused by bright night sky or direct measurement of "quality of the sky" by Unihedron - Sky Quality Meter (SQM). Meteorological models are described in the ninth kapitole. There is described the calculation of sky brightness, depending on natural conditions and the emitted luminous flux and is also performed descriptive statistics measured set of night illuminance. This chapter contains one of the main benefits of the dissertation and the relative five-part scale of obtrusive light the night sky. Another section is devoted to light emissive in the upper half-space and above average build-intensity curve and the curve so formed to determine the direct flux from the average going into the upper half-space lighting.

The main benefits of the dissertation is eleven parts, which deals with the practical experiments, serving to validate the theoretical assumptions and statistical processing of data obtained and the subsequent evaluation of the statistical analysis. Above all, establishing a more detailed scale of light pollution the night sky and the determination of the individual sources of light interference.

Key world

Obtrusive light, light pollution, adaptation, cut-off, reflectance, utilization factor, upward light ratio, sky-luminance, brightness, contrast, glare, curfew, spill light, magnitude, public lighting, sky-glow

Seznam použitých symbolů a zkratek:

| | | |
|---------------|--|--|
| Φ | [lm] | celkový světelný tok |
| Φ_ρ | [lm] | odražený světelný tok |
| Φ_α | [lm] | absorbovaný světelný tok |
| Φ_τ | [lm] | prostupující světelný tok |
| Φ_{sv} | [lm] | světelný tok svítidla |
| Φ_z | [lm] | instalovaný světelný tok |
| Φ_D | [lm] | světelný tok vystupující do dolního poloprostoru |
| Φ_H | [lm] | světelný tok vystupující do horního poloprostoru |
| Φ_O | [lm] | světelný tok vyzářený na oblohu |
| Φ_e | [W] | zářivý tok |
| λ | [nm] | vlnová délka |
| ν | [Hz] | frekvence |
| α | [-] | činitel absorpce |
| ρ | [-] | činitel odrazu |
| τ | [-] | činitel prostupu |
| η | [-] | účinnost svítidla |
| a | [-] | konstanta |
| c_0 | [m · s ⁻¹] | rychlost šíření světla ve vakuu |
| d | [pc] | vzdálenost hvězdy od pozorovatele na Zemi |
| E | [lx] | osvětlenost |
| E_e | [W · m ⁻²] | intenzita ozáření |
| E_f | [eV] | energie fotonu |
| F | [W · m ⁻²] | bolometrická jasnost příslušné hvězdy |
| F_0 | [W · m ⁻²] | bolometrická jasnost |
| h | [J · s] | Planckova konstanta |
| I | [cd] | svítivost |
| I_e | [W · sr ⁻¹] | zářivost |
| I | [lm · m ⁻²] | hustota světelného toku příslušné hvězdy |
| I_0 | [lm · m ⁻²] | referenční hustota světelného toku |
| I_α | [cd] | svítivost ve směru α |
| K | [-] | kontrast jasů |
| K_{min} | [-] | minimální (prahový) kontrast jasů |
| L | [cd · m ⁻²] | jas |
| L_a | [cd · m ⁻²] | jas kritického detailu |
| L_b | [cd · m ⁻²] | jas bezprostředního okolí |
| L_0 | [cd · m ⁻²] | jas pozorované hvězdy |
| $L_{e\delta}$ | [cd · m ⁻² · sr ⁻¹] | zář |
| L_O | [W] | zářivý výkon |
| L_v | [cd · m ⁻²] | závojevý jas |
| L_{05} | [cd · m ⁻²] | jas hvězdy o hvězdné velikosti $m = 5$ mag |
| L_{06} | [cd · m ⁻²] | jas hvězdy o hvězdné velikosti $m = 6$ mag |
| m | [mag] | hvězdná velikost |
| m_v | [mag] | vizuální hvězdná velikost |
| m_{bol} | [mag] | bolometrická hvězdná velikost |
| M | [mag] | absolutní hvězdná velikost |
| M | [lm · m ⁻²] | světlení |
| M_e | [W · m ⁻²] | intenzita vyzářování |

| | | |
|--------------|--|--|
| apod. | a podobně | |
| AV | Akademie věd | |
| CIE | Mezinárodní komise pro osvětlování | International commission on Illumination |
| č. | číslo | |
| ČHMI | Český hydrometeorologický institut | |
| ČR | Česká republika | |
| ČSN | Česká státní norma | |
| E | zóna životního prostředí | |
| G | třída svítivosti | |
| ISO | Mezinárodní organizace pro normalizaci | International Organization for Standardization |
| kap. | kapitola | |
| max | maximum | |
| min | minimum | |
| mhv | mezí hvězdná velikost | |
| např. | například | |
| NASA | Národní úřad pro letectví a kosmonautiku | National Aeronautics and Space Administration |
| NK | Nová knihovna | |
| obr. | obrázek | |
| odst. | odstavec | |
| Sb. | sbírka | |
| tab. | tabulka | |
| TI | prahový přírůstek | |
| tzn. | to znamená | |
| $V(\lambda)$ | spektrální citlivost oka | |
| VO | veřejné osvětlení | |
| Z | změna | |

Obsah:

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Úvod | 10 |
| 2. | Cíle disertační práce | 12 |
| 3. | Současná právní úprava v oblasti rušivého světla | 13 |
| 3.1 | Předpisy a doporučení v oblasti rušivého světla | 13 |
| 3.1.1. | Směrnice CIE 150:2003, CIE 126:1997, ČSN EN 12193 a Draft publication N°9 | 14 |
| 3.1.2. | Nařízení Komise (ES) č. 245/2009 | 18 |
| 3.1.3. | Zákon č. 395/2005 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů /zákon o ochraně ovzduší/ | 19 |
| 3.1.4. | ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací. | 20 |
| 4. | Zdroje rušivého světla | 22 |
| 4.1 | Rušivé účinky světelných zdrojů | 23 |
| 4.2 | Rušivé účinky svítidel | 25 |
| 5. | Kategorizace rušivého světla | 28 |
| 5.1 | Jas oblohy | 29 |
| 5.2 | Optické zákony, vznik závojevého jasu | 34 |
| 5.2.1. | Odraz světelného záření | 34 |
| 5.2.2. | Prostup světelného záření | 37 |
| 5.2.3. | Absorpce světelného záření | 38 |
| 5.3 | Oslnění | 39 |
| 5.4 | Světelný přesah | 40 |
| 5.5 | Nehospodárně využitá elektrická energie | 41 |
| 6. | Vazba světelně-technických jednotek na astronomické | 42 |
| 6.1 | Vybrané pojmy z oblasti záření | 42 |
| 6.2 | Vybrané pojmy z oblasti světelné techniky a jejich srovnání se zářivými veličinami | 43 |
| 6.3 | Vybrané pojmy z astrofyziky a jejich srovnání se zářivými světelnými veličinami | 44 |
| 6.4 | Posouzení jasových poměrů na noční obloze bez oblačnosti | 46 |
| 7. | Fyzikální a astronomické metody zjišťování jasů noční oblohy | 48 |
| 7.1 | Vizuální metody | 48 |
| 7.2 | Fotografická metoda | 50 |
| 7.3 | Měření fotoelektrickým fotometrem | 50 |
| 7.4 | Měření CCD kamerou | 50 |
| 7.5 | Měření prováděná z oběžné dráhy | 50 |
| 8. | Světelně-technické metody zjišťování jasů noční oblohy | 51 |
| 8.1 | Měření osvětleností vyvolaných jasnem noční oblohy | 51 |
| 8.1.1. | Měřicí soustava | 51 |
| 8.1.2. | Použitý zdroj rušivého světla | 52 |
| 8.2 | Přímé měření jasů noční oblohy jasovým analyzátozem | 52 |
| 8.2.1. | Jasoměr LMK mobile advanced | 53 |
| 8.2.2. | Měřicí fotoaparát Nikon a program LumiDISP | 54 |
| 8.2.3. | Jasoměr Konica Minolta LS-100 | 55 |
| 8.3 | Přímé měření jasů noční oblohy CCD kamerou | 56 |
| 8.4 | Měření jak přímých tak i odražených veličin noční oblohy pomocí Luxmetru MX-Elektronik MINILUX | 56 |
| 8.5 | Přímé měření „kvality oblohy“ pomocí Unihedron – Sky Quality Meter (SQM) | 57 |
| 9. | Meteorologické modely | 57 |
| 9.1 | Výpočet jasu oblohy v závislosti na přírodních podmínkách (astrofyzikálních) a na vyzařovaném světelném toku | 58 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 9.2 | Deskriptivní statistika naměřeného souboru nočních osvětleností | 60 |
| 9.2.1. | Příčiny změn osvětleností | 61 |
| 9.2.2. | Meteorologické prvky, nutná zjednodušení, hledání závislosti mezi naměřenými veličinami | 62 |
| 9.2.3. | Formulace a aplikace lineárního modelu | 64 |
| 10. | Světlo vyzářené do horního poloprostoru | 65 |
| 10.1 | Výpočet světelného toku vyzářeného na oblohu | 65 |
| 10.1.1. | Vlastnosti svítidel s plochým sklem | 66 |
| 10.1.2. | Základní uspořádání pro modelování světelného toku jdoucího do horního poloprostoru | 66 |
| 10.2 | Model vzorové křivky svítivosti | 67 |
| 11. | Experimenty pro ověření teoretických předpokladů | 69 |
| 11.1 | Měření jasových poměrů od oblohy na hvězdárně a planetáriu Johanna Palisy v Ostravě | 69 |
| 11.1.1. | Měření jasů a osvětleností od oblohy | 69 |
| 11.2 | Měření u hotelu Dlouhé Stráně v Koutech nad Desnou dne 24.7.2006 | 72 |
| 11.3 | Měření na horní nádrži Přecherpávací elektrárny Dlouhé Stráně dne 25. a 26.7.2006 | 72 |
| 11.4 | Měření na Slovenské akademii věd v Bratislavě - 29.5. 2008 | 73 |
| 11.5 | Měření v astronomickém ústavu ve Staré Lesné - 25. a 26.8. 2008 | 73 |
| 11.6 | Měření v observatoři ve Skalnatém Plese-27.8. 2008 | 74 |
| 11.7 | Měření na Nové Knihovně, VŠB - 29.10. 2008 | 74 |
| 11.8 | Měření v Chlebovicích-30.9. 2008 | 75 |
| 11.9 | Měření v Jablonci nad Nisou a v celém Libereckém kraji | 75 |
| 11.9.1. | Použité měřicí přístroje | 76 |
| 11.9.2. | Popis měření jasů noční oblohy v Jablonci nad Nisou | 77 |
| 11.9.3. | Měření jasů noční oblohy v Libereckém kraji | 84 |
| 11.10 | Měření rušivých účinků umělého venkovního osvětlení na Lysé hoře | 91 |
| 11.11 | Měření na budově NK VŠB-TU v Ostravě Porubě | 94 |
| 11.11.1. | Dlouhodobé měření osvětleností od oblohy | 94 |
| 11.11.2. | Srovnání měřících aparatur | 98 |
| 11.11.3. | Statistické vyhodnocení naměřených dat | 100 |
| 12. | Empirický výzkum působení rušivého světla na obyvatele | 105 |
| 13. | Závěr | 108 |
| 13.1 | Přínos disertační práce a doporučení pro další postup ve výzkumu | 109 |

Seznam použité literatury

Seznam projektů, na kterých autor spolupracoval

Seznam publikací autora

Přílohy č.1 – č.14

1. Úvod

Světelné znečištění „Light pollution“ jako všeobecný pojem reprezentuje celkový souhrn nepříznivých vlivů umělého venkovního osvětlení, který zahrnuje jednak projevy rušivého světla, ale i sekundární projevy při jeho vzniku. Tento hojně používaný termín je však diskutabilní. Nutnou podmínkou pro to, aby bylo něco znečištěno je, že to zůstane znečištěno i tehdy, když to přestane být znečišťováno. Je-li např. směřováno na oblohu, tak se v ovzduší rozptýlí a zvýší závojevý jas oblohy – zhorší podmínky pro pozorování. V okamžiku kdy se vypne, zmizí i jeho účinky. Světlo tedy není polutant, pouze ruší zmíněné pozorování. Z těchto důvodů je daleko vhodnější používat termín rušivé světlo „Obtrusive light“.

Rušivé světlo je rozptýlené (parazitní, nadměrné) elektromagnetické záření ve viditelné oblasti produkované umělými světelnými zdroji šířící se ve venkovním prostoru v důsledku množství, směru, nebo spektrálního složení. V daném kontextu způsobuje rušení, nepohodu, nebo omezení viditelnosti a rozpoznání základních zrakových informací.

Rozptýlené (parazitní, nadměrné) světlo je takové, které dopadá mimo hranice osvětlované oblasti, a které ve svém důsledku způsobuje převážně nežádoucí jevy, jako jsou:

- zvýšený jas oblohy (zhoršující viditelnost kosmických těles a jevů ve vesmíru),
- různé formy oslnivého světla,
- světelný přesah (světlo osvětlující plochy mimo relevantní oblast narušující přirozený stav nočního prostředí),
- zvýšená spotřeba elektrické energie.

Rozptýlené světlo není účelně směřováno a vyznačuje se negativními sekundárními jevy v podobě zvýšené spotřeby elektrické energie, nerostných surovin atd. Světelný tok, který je neúčelně distribuován ve venkovním prostoru nám pak kvantifikuje míru nevyužitého světelného záření a vymezuje tento jev z energetického a ekonomického hlediska. Podíl spotřeby elektrické energie pro osvětlování na celkové elektrické energii dodané spotřebitelům v České republice dosahuje 11 % (průměr v EU činí 15% [12]). V době energetických špiček a zejména v zimních měsících se umělé osvětlení podílí až 20 % zatížení na naší elektrizační soustavě.

Rušivé světlo nemůžeme chápat jako klasické znečištění ovzduší, které je způsobeno látkami jako je oxid siřičitý, oxid dusíku, oxid uhelnatý apod., které při zániku svého zdroje nadále zanechávají trvalý vliv na okolí. Světelné záření vykazující projevy rušivého světla, při zániku svého zdroje, nezanechává vliv na okolí a může být naopak indikátorem výskytu znečišťujících částic v atmosféře.

Abychom byli schopni aplikovat poznatky a požadavky na omezení rušivého světla pro osvětlovací praxi je nutné problém kvantifikovat a světelně-technicky popsat. Je nutno analyzovat světelné děje a procesy, optické zákonitosti a zhodnotit vliv důsledků rušivého světla na proces vidění [11].

V posledním období je pojem rušivého světla medializován na základě konfrontace názorů astronomické veřejnosti a odborníků z oblasti osvětlování (především se jedná o správce nebo majitele venkovních osvětlovacích soustav). Dále také na základě stížností občanů na rušivé světlo dopadající do jejich příbytků apod. a v neposlední řadě na základě energetických koncepcí na úrovni jednotlivých států a celosvětových společností.

Astronomická obec v České republice se snažila na začátku nového milénia zahrnout požadavky na omezení rušivého světla do zákona [9]. Tyto požadavky, zasahující především oblast veřejného osvětlení, by představovaly výrazné finanční zatížení rozpočtů měst a obcí, přičemž nerespektují standardy, normy ani samotné světelně-technické zákonitosti. V konečném důsledku se tyto snahy podařilo eliminovat skupinou odborníků z tematické skupiny ČNK CIE TC 4.21 – Rušivé světlo, autor je členem této skupiny. Nakonec zákon č. 86/2002 Sb. ponechává opatření pro omezení rušivého světla v kompetenci jednotlivých obcí. [9]

Pro potřeby obcí byla problematika světelného rušení řešena v rámci grantového projektu Ministerstva místního rozvoje „Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí“ [8], jehož je autor spoluřešitelem.

Sekundární projevy rušivého světla v podobě nárůstu spotřeby elektrické energie a nerostných surovin, se stávají klíčovým parametrem v oblasti trvale udržitelného rozvoje společnosti.

Cílem disertační práce je vytvoření komplexního souboru metodik hodnocení primárních a sekundárních projevů rušivého světla a stanovení prostředků pro jejich omezení v podmínkách ČR, tzv. kvantifikace rušivého světla.

2. Cíle disertační práce

Cíle disertační práce lze vyjádřit následovně:

I. Sestavení průměrné křivky svítivosti svítidla veřejného osvětlení

Úkolem první etapy je sestavení průměrné křivky svítivosti. Na základě odborného odhadu expertů na světelnou techniku byl vybrán vzorek svítidel nejčastěji zastoupených ve veřejném osvětlení a poté byla z tohoto vzorku sestavena průměrná křivka, která by měla zastoupit všechna svítidla z hlediska směru a tvaru vyzařované křivky (prostorového rozložení svítivosti). Je zde definován procentuální podíl světelného toku jdoucího do horního poloprostoru z průměrného svítidla.

II. Stanovení podílu jednotlivých zdrojů rušivého světla

Cílem této etapy je stanovení podílu jednotlivých zdrojů rušivého světla na zvýšený jas oblohy. Jedná se o tyto zdroje rušivého světla:

- osvětlení pozemních komunikací (veřejné osvětlení),
- osvětlení interiérů (okna),
- osvětlení venkovních pracovišť (sklady, haly)
- osvětlení venkovních sportovišť,
- osvětlení letišť,
- reklamní osvětlení.

III. Sestavení fyzikálních a astronomických metod měření a následné modelování jasů noční oblohy

V rámci této etapy jsou sestaveny fyzikální a astronomické metody, kterými se v současné době měří a vyhodnocují jasy noční oblohy v astronomických observatořích a planetáriích. Dále zde jsou uvedeny možnosti využití světelně-technických metod pro zjišťování jasů noční oblohy.

IV. Klasifikace meteorologických podmínek

Tato etapa řeší stanovení meteorologických podmínek ovlivňujících noční osvětlenosti. Je zde řešen výpočet jasu oblohy v závislosti na přírodních podmínkách a na vyzařovaném světelném toku.

Součástí této etapy je provedení deskriptivní statistiky naměřeného souboru nočních osvětleností.

V. Experimenty pro verifikaci teoretických předpokladů

Úkolem této etapy je provedení řady experimentů, sloužících pro ověření teoretických předpokladů. Experimenty byly provedeny jednak v oblastech ovlivněných rušivým světlem (městské aglomerace) a také v oblastech takřka neovlivněných rušivým světlem (venkov či chráněné přírodní oblasti).

Jednotlivé etapy disertační práce budou sloužit pro tvorbu souboru pravidel hodnocení a opatření pro omezení projevů rušivého světla.

Abychom byli schopni aplikovat požadavky na omezení rušivého světla pro osvětlovací praxi je nutné problém kvantifikovat a světelně technicky popsat. Je nutno analyzovat světelné děje, procesy, optické zákonitosti a zhodnotit vliv důsledků rušivého světla na proces vidění.

3. Současná právní úprava v oblasti rušivého světla

3.1 Předpisy a doporučení v oblasti rušivého světla

Problematikou rušivého světla se zabývají dokumenty Mezinárodní komise pro osvětlování, např. publikace [1] a [2], nebo připravovaný návrh publikace „*Guide for minimizing sky glow*“ [33]. Obdobná hodnocení rušivého světla se vyskytují i v posledním návrhu evropské normy z 15. září 2005 pro osvětlování venkovních prostor (ISO/FDIS 8995-2 „*Lighting of work places – Part 2: Outdoor*“).

Okrajově se problematiky rušivého světla dotýká také nařízení evropské komise Evropského parlamentu s názvem: „*Nařízení Komise (ES) č. 245/2009 ze dne 18. března 2009, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign zářivek bez integrovaného předřadníku, vysoce intenzivních výbojek a předřadníků a svítidel, jež mohou sloužit k provozu těchto zářivek a výbojek, a kterým se zrušuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/55/ES*“ [31].

V prostředí České republiky se termín světelné znečištění objevuje v zákoně č. 395/2005 Sb., „O ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů“, kde je definováno SZ takto : „Světelným znečištěním se rozumí viditelné záření umělých zdrojů světla, které může obtěžovat osoby nebo zvířata, způsobovat jim zdravotní újmu nebo narušovat některé činnosti a vychází z umístění těchto zdrojů ve vnějším ovzduší nebo ze zdrojů světla, jejichž záření je do vnějšího ovzduší účelově směřováno“. Obec může obecně závaznou vyhláškou zakázat promítání světelných reklam a efektů na oblohu a zakázat používání laserové techniky při kulturních akcích.

Rušivému světlu se věnuje i vyhláška 137/98 - Vyhláška o obecných technických požadavcích na výstavbu, kde v §60 Stavby a zařízení pro informace, reklamu a propagaci se v odstavci 1 praví: „Svým provedením a umístěním nesmějí stavby a zařízení pro informace, reklamu a propagaci ...nad přípustnou míru obtěžovat okolí, zejména obytné prostředí, hlukem nebo světlem, obzvláště přerušovaným...“. [35]

V ČSN EN 13201 „Osvětlení pozemních komunikací“ je věnována pozornost hlediskům, která ovlivňují vzhled a vliv na životní prostředí.

ČSN EN 12464-2 „Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory“ - tato norma stanovuje požadavky na osvětlení pro venkovní pracovní prostory z hlediska zrakové pohody a zrakového výkonu [34].

3.1.1. Směrnice CIE 150:2003, CIE 126:1997, ČSN EN 12193 a Draft publication N°9

Výše uvedené dokumenty CIE [1] a [2] a taktéž norma ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť [39] obsahují mimo jiné základní požadavky na omezení rušivých účinků světla, např. požadavky na vnikání světla do oken obytných budov, na omezení svítivosti svítidel a na omezení jasů fasád budov a reklamních zařízení, a to podle tzv. zón životního prostředí.

Zóny životního prostředí:

(předpokládá se, že definici následujících zón provede příslušné pracoviště místní samosprávy, např. odbor výstavby)

E1: oblasti obzvláště tmavé (národní parky nebo chráněná území)

E2: oblasti s nízkým jasem (průmyslové nebo obytné venkovské oblasti)

E3: oblasti se středním jasem (průmyslové nebo obytné oblasti na okrajích měst)

E4: oblasti s vysokým jasem (centra měst a obchodní zóny)

V případě posouzení vlivu osvětlených reklamních zařízení na životní prostředí je možno použít především limitů uvedených v pravém sloupci Tab. 3.1. Dále je možno zvážit vliv reklamních zařízení na svislou osvětlenost okolních nemovitostí, především v rovině oken obytných budov.

Tab. 3.1 Limity rušivého světla

| LIMITY RUŠIVÉHO SVĚTLA (SVĚTELNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ) | | | | | | | |
|--|--|--|---------------------|--|---------------------|--|--|
| Zóna | Podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru ULR [%] | Maximální svislá osvětlenost okolních nemovitostí (především v rovině oken obytných budov, součet od všech osvětlovacích soustav) E_v [lx] | | Maximální svítivost svítidel v navrhovaných směrech I [cd] | | Jas fasád budov L̄ [cd.m⁻²] | Jas reklamních zařízení L̄ [cd.m⁻²] |
| | | před policejní hodinou | po policejní hodině | před policejní hodinou | po policejní hodině | před policejní hodinou i po ní (průměrná hodnota) | |
| E1 | ≤ 0 | ≤ 2 | 0* | ≤ 2 500 | 0** | 0 | ≤ 50 |
| E2 | ≤ 5 | ≤ 5 | ≤ 1 | ≤ 7 500 | ≤ 500 | ≤ 5 | ≤ 400 |
| E3 | ≤ 15 | ≤ 10 | ≤ 5 | ≤ 10 000 | ≤ 1 000 | ≤ 10 | ≤ 800 |
| E4 | ≤ 25 | ≤ 25 | ≤ 10 | ≤ 25 000 | ≤ 2 500 | ≤ 25 | ≤ 1 000 |

ULR = poměr světelného toku dopadajícího na vodorovnou rovinu těsně nad svítidlem v provozní poloze, k celkovému světelnému toku svítidla

* v případě svítidel osvětlení veřejných komunikací platí hodnota ≤ 1 lx

** v případě svítidel osvětlení veřejných (pozemních) komunikací platí hodnota ≤ 500 cd

Pozn.: Pojem „policejní hodina“ není v ČR zaveden. Můžeme jej chápat jako začátek období nočního klidu (např. od 22:00 do 6:00).

V připravovaném návrhu publikace „Guide for minimizing sky glow“ [33], který po 13 letech nových zkušeností a poznatků týkajících se problematiky rušivého světla by měl „novelizovat“ směrnici CIE 126:1997 [2]. V tomto návrhu se upřeshňují a zavádí nové definice a termíny. Je zde také popsán model, tzv. Walkerův zákon, podle kterého může být zapsán umělý jas oblohy L_A nad místem ve vzdálenosti D od světelného zdroje emitujícího světelný tok v $90^\circ \leq \gamma \leq 110^\circ$ (0° - 20° nad horizontem) jako:

$$[cd \cdot m^{-2}] L_A(D) = H \cdot I^{0.5} \cdot D^{-2.5} \quad (3.1)$$

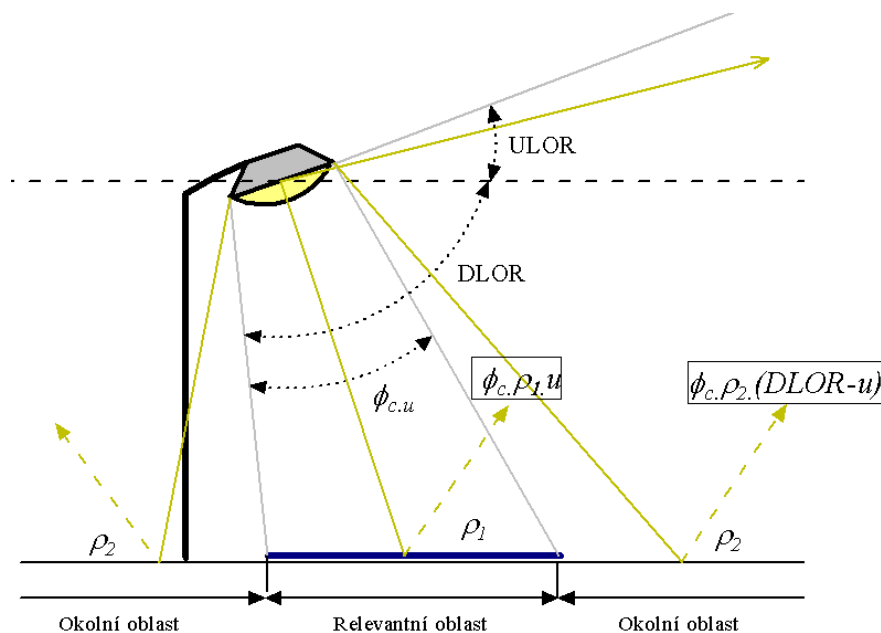
kde koeficient H , jehož velikosti jsou $m^{0.5} \cdot sr^{-1}$, závisí na podmínkách atmosféry.

Celkový světelný tok, který se šíří do horního poloprostoru a zvyšuje tak závojevý jas oblohy, je tvořen přímou složkou a složkou odraženou od terénu a objektů v okolí. Dle dokumentu [1] je ovšem vyhodnocován pouze světelný tok, který je distribuován přímo do horního poloprostoru pomocí ULR:

$$ULR = \frac{ULOR}{ULOR + DLOR} \quad (3.2)$$

kde $ULOR$ je poměrný světelný tok svítidla v instalované pozici, který je distribuován do horního poloprostoru

$DLOR$ je poměrný světelný tok svítidla v instalované pozici, který je distribuován do dolního poloprostoru.



Obr. 3.1: Přímá a odražená složka světelného toku

V některých případech může být $ULR = 0$ a přesto díky vysoké odraznosti povrchu je do horního poloprostoru distribuováno výrazné množství světelného toku [36].

Proto je definován celkový světelný tok UTLF (Upward total lighting flux), který se šíří do horního poloprostoru. Skládá se ze tří složek (Obr. 3.1):

- $\phi_c \cdot ULOR$ je světelný tok vyzařován přímo ze svítidel do horního poloprostoru,
(ϕ_c je celkový světelný tok zdrojů)
- $\phi_c \cdot \rho_1 \cdot u$ je světelný tok odražený od osvětlované relevantní oblasti,
(u - činitel využití osvětlovací soustavy, ρ_1 - činitel odrazu relevantní oblasti)
- $\phi_c \cdot \rho_2 \cdot (DLOR - u)$ je světelný tok odražený od povrchu okolní oblasti.
(ρ_2 - činitel odrazu osvětleného okolí)

Pro celkový světelný tok do horního poloprostoru pak platí:

$$UTLF = \phi_c \cdot [ULOR + \rho_1 \cdot u + \rho_2 \cdot (DLOR - u)] \quad (3.3)$$

Pro osvětlenost relevantní oblasti dále platí:

$$E = \frac{\phi_c \cdot u}{A} \quad (3.4)$$

Rovnici (3.3) lze dále uvést do tvaru:

$$UTLF = \frac{E \cdot A}{u} \cdot [ULOR + \rho_1 \cdot u + \rho_2 \cdot (DLOR - u)] = E \cdot A \left[\frac{ULOR}{u} + \rho_1 + \rho_2 \left(\frac{DLOR}{u} - 1 \right) \right] \quad (3.5)$$

Celkový světelný tok do horního poloprostoru je úměrný osvětlenosti a velikosti osvětlované oblasti. Parametry ULOR, DLOR a u jsou dány optickými vlastnostmi svítidla a geometrií osvětlovací soustavy, parametr E vychází z požadavku na osvětlení relevantní oblasti A a parametry ρ_1 , ρ_2 závisí na daném prostředí.

Světelný tok do dolního poloprostoru šířící se mimo relevantní oblast (DLOR) je prakticky vždy větší než světelný tok dopadající na relevantní oblast (u) a platí:

$$\left[\frac{ULOR}{u} + \rho_1 + \rho_2 \left(\frac{DLOR}{u} - 1 \right) \right] \geq 0 \quad (3.6)$$

Minimální nevyužitý světelný tok UTLF nastane v případě (světelný tok osvětlovací soustavy bude maximálně využit), když $ULOR = 0$ a $DLOR = u$ a pak platí:

$$UTLF_{\min} = \rho_1 \cdot E \cdot S \quad (3.7)$$

Jestliže $ULOR = 0$ a $\rho_1, \rho_2 = \rho$ pak platí, že:

$$UTLF = \rho \cdot E \cdot S \cdot \frac{DLOR}{u} = UTLF_{\min} \cdot \frac{DLOR}{u} \quad (3.8)$$

UTLF je tedy minimální, když hodnota činitele využití (u) se blíží (DLOR).

Koeficient rušivého světla COL světelného místa lze stanovit takto:

$$COL = \frac{UTFL}{UTLF_{\min}} = \frac{E \cdot A \cdot \left[\frac{DLOR}{u} + \rho_1 + \rho_2 \left(\frac{DLOR}{u} - 1 \right) \right]}{\rho_1 \cdot E \cdot A} \quad (3.9)$$

$$COL = 1 + \frac{1}{\rho_1} \cdot \left[\frac{ULOR}{u} + \rho_2 \left(\frac{DLOR}{u} - 1 \right) \right] \quad (3.10)$$

Jestliže platí $ULOR = 0$ a $DLOR = u$ pak $COL = 1$, což reprezentuje teoretickou minimální hodnotu COL .

UTLF světelného místa lze pak vyjádřit jako funkci osvětlované plochy a osvětlenosti nebo jako funkci jmenovitého světelného toku světelných zdrojů:

$$UTLF = \rho_1 \cdot E \cdot A \cdot [COL] = \rho_1 \cdot \phi_c \cdot u [COL] \quad (3.11)$$

Koeficientem rušivého světla je možné hodnotit míru využití světelného toku světelného místa, nikoli osvětlovací soustavy jako celku. To je závislé především na její geometrii, tzn. vzdálenosti mezi světelnými místy.

Účinnost, $ULOR$ a $DLOR$ je možné získat u výrobce. Výrazně se do přesnosti výpočtu promítá stanovení odrazností povrchu v daném místě. Např. povrch vozovky je standardizován třídami R1, R2, R3 a činitelem odrazu 0,07 až 0,10.

V návrhu publikace [33] je také uvedena tabulka typických činitelů odrazů:

Tab. 3.2 Typičtí činitelé odrazu

| Typičtí činitelé odrazu | |
|-------------------------|---------------|
| Materiál | Odrážnost [%] |
| Pískovec | 18 |
| Cihla | 30-48 |
| Cement | 27 |
| Beton | 40 |
| Půda | 7 |
| Tráva (tmavě zelená) | 6 |
| Tráva (světlá) | 18 |
| Štěrk | 13 |
| Mramor | 45 |
| Barva (bílá) | 55-75 |
| Sníh | 64-74 |
| Vegetace | 25 |

3.1.2. Nařízení Komise (ES) č. 245/2009

Okrajově se problematiky rušivého světla dotýká také nařízení evropské komise Evropského parlamentu s názvem: „Nařízení Komise (ES) č. 245/2009 ze dne 18. března 2009, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign zářivek bez integrovaného

předřadníku, vysoce intenzivních výbojek a předřadníků a svítidel, jež mohou sloužit k provozu těchto zářivek a výbojek, a kterým se zrušuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/55/ES“ [31].

Jde o dokument zabývající se nejen záležitostmi energeticky úsporných světelných zdrojů, svítidel a předřadníků, ale v příloze VIII praví: „Podíl světla vyzařovaného optimálně nainstalovaným svítidlem a dosahujícího nad horizont by měl být omezen na:“ a následuje Tab. 3.3.

Tab. 3.3 (formálně upravená tabulka 25 textu EU) - Orientační hodnoty maximálního podílu světelného toku, který je vyzařován nad vodorovnou rovinu (ULOR), u jednotlivých silničních tříd svítidel určených pro veřejné osvětlení

| Třída osvětlení | Světelný tok zdroje (klm) | ULOR (%) |
|----------------------------------|------------------------------|-------------|
| ME1 až ME6 a MEW1 až MEW6 | všechny | 3 |
| CE0 až CE5, S1 až S6, ES, EV a A | $12 \leq \Phi$ | 5 |
| | $8,5 \leq \Phi < 12$ | 10 |
| | $3,3 \leq \Phi < 8,5$ | 15 |
| | $< 3,3$ | 20 |

Toto nařízení je přísnější, protože uvedené hodnoty platí bez ohledu na environmentální zóny známé z jiných předpisů, např. ČSN EN 12464-2 [34].

Tab. 3.4 Požadavky ČSN EN 12464-2

| Environmentální zóna | E1 | E2 | E3 | E4 |
|----------------------|----|----|----|----|
| ULR (%) | 0 | 5 | 15 | 25 |

3.1.3. Zákon č. 395/2005 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů /zákon o ochraně ovzduší/

Zákon č. 395/2005 Sb., kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů /zákon o ochraně ovzduší/, ve znění pozdějších předpisů v § 2 odst. 1 písmeno r) definuje tzv. světelné znečištění („světelným znečištěním se pro účely tohoto zákona v oblasti ochrany ovzduší rozumí viditelné záření umělých zdrojů světla, které může obtěžovat osoby nebo zvířata, způsobovat jim zdravotní újmu nebo narušovat některé činnosti a vychází z umístění těchto zdrojů ve vnějším ovzduší nebo ze zdrojů světla, jejichž záření je do vnějšího ovzduší účelově směřováno“) a v § 50 odst. 3 uvádí, že „obec může závaznou vyhláškou v oblasti opatření proti světelnému znečištění regulovat promítání světelných reklam a efektů na oblohu“.

3.1.4. ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací.

Pro osvětlování pozemních komunikací v ČR platí soubor norem ČSN EN 13201 „Osvětlení pozemních komunikací“ [3], [4], [5], [6], [7].

Osvětlovací soustava osvětluje relevantní oblast pozemní komunikace, způsobuje míru zhoršení viditelnosti omezujícím oslněním svítidly osvětlovací soustavy. V relevantní oblasti hodnotíme oslnění tzv. prahovým přírůstkem (TI). Prahový přírůstek je definován pro třídy osvětlení ME a MEW, které se vztahují na řidiče motorových vozidel pohybujících se po pozemních komunikacích střední a vysokou povolenou rychlostí (Světelné situace A1, A2, A3 a B1, B2). V tomto smyslu nehodnotíme rušivé světlo ve smyslu světelného znečištění.

Naopak světlo distribuované osvětlovací soustavou dopadající mimo místo zrakového úkolu považujeme za rozptýlené vykazující rušivé vlivy. Oslnění rušivým světlem mimo relevantní oblast lze hodnotit pomocí prahového přírůstku, nebo třídou clonění a třídou oslnění.

Hodnocením rušivého světla osvětlovacích soustav pozemních komunikací se zabývá druhá část (ČSN EN 13201-2) v kapitole 7 „Vzhled a vliv na životní prostředí“, kde se uvádí, že vzhled a rozmístění jednotlivých prvků osvětlovací soustavy může značně ovlivnit vzhled komunikace a životního prostředí během dne a noci. To platí nejen pro uživatele komunikace, ale i pro pozorovatele, který vnímá osvětlovací soustavu s určitým odstupem. Z hlediska rozptýleného světla působícího rušivě, je nutné věnovat pozornost hlediskům, které ovlivňují:

1. vzhled a příjemné působení v noci

- barevný tón světla;
- podání barev;
- montážní výška svítidel;
- vzhled svítící osvětlovací soustavy;
- optické vedení zajišťované přímým světlem svítidel;
- regulace hladiny osvětlení.

2. omezení světla vyzařovaného do směrů, kde není potřeba, nebo kde je nežádoucí

- venkovské a příměstské oblasti, kde osvětlovací soustava působí rušivě při dálkových pohledech přes otevřenou krajinu,

- minimalizace rušivého světla vnikajícího do objektů,
- vyzařování nad vodorovnou rovinu, které rozptylem v atmosféře narušuje přirozený pohled na hvězdy a zhoršuje podmínky pro astronomická pozorování.

V příloze A se uvádí, že jako měřítko pro hodnocení obtěžujícího (rušivého) světla je možno použít tříd svítivosti G (G1 až G6), které udávají limitní hodnoty svítivosti v cd/klm pro úhly 70°, 80° a 90° od svislice směrem vzhůru (Tab. 3.5).

Tab. 3.5 Maximální svítivost svítidel

| Třída | Maximální svítivost [cd/klm] | | | Jiné požadavky |
|-------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| | při 70° ^{a)} | při 80° ^{a)} | při 90° ^{a)} | |
| G1 | | ≤ 200 | ≤ 50 | žádné |
| G2 | | ≤ 150 | ≤ 30 | žádné |
| G3 | | ≤ 100 | ≤ 20 | žádné |
| G4 | ≤ 500 | ≤ 100 | ≤ 10 | svítivost nad 95° ¹⁾ je nula |
| G5 | ≤ 350 | ≤ 100 | ≤ 10 | svítivost nad 95° ¹⁾ je nula |
| G6 | ≤ 350 | ≤ 100 | 0 | svítivost nad 90° ¹⁾ je nula |

¹⁾ Svítivost v uvedeném úhlu měřeném zdola od svislice, v libovolném směru, pro svítidlo v provozní poloze.

Norma v současné době neřeší, kterou třídu svítivosti a kdy použít. Proto se v návrhu změny Z1 (listopad 2006) této normy definuje třída clonění v závislosti na zóně životního prostředí. Předpokládá se, že vymezení zón životního prostředí provede příslušné pracoviště místní samosprávy, např. odbor výstavby. Navrhovaná doporučená třída clonění v závislosti na zóně životního prostředí je uvedena v Tab. 3.6 viz [8].

Tab. 3.6 Třída clonění svítidla v závislosti na zóně životního prostředí

| Zóna životního prostředí | Přípustná třída clonění |
|--------------------------|-------------------------|
| E1 | G6 |
| E2 | G6 až G4 |
| E3 | G6 až G2 |
| E4 | G6 až G1 |

Pro hodnocení oslnění obtěžujícím (rušivým) světlem je možné využít tříd oslnění. Norma v současné době neřeší, kterou třídu svítivosti kdy použít. Proto se v návrhu změny Z1 (listopad 2006) této normy definuje třída oslnění v závislosti na montážní výšce a jasu okolí. Použití tříd oslnění podle Tab. 3.7 se doporučuje v obytných oblastech a pěších zónách, kde je rušivé oslnění chodců a řidičů většinou způsobeno jasnem jednotlivých svítidel nacházejících se v blízkosti obvyklého směru pohledu pozorovatele. Doporučení pro použití tříd oslnění je uvedeno v Tab. 3.8.

Tab. 3.7 Třída oslnění

| Třída | DO | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 |
|-----------------------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Hodnota součinitele oslnění | - | ≤ 7000 | ≤ 5500 | ≤ 4000 | ≤ 2000 | ≤ 1000 | ≤ 500 |

Tab. 3.8 Doporučení pro použití tříd oslnění

| Montážní výška svítidel H [m] | Třída oslnění | Poznámky |
|-------------------------------|---------------|-------------------|
| $H > 6$ | D1 | |
| $6 \geq H > 4,5$ | D2 | |
| $4,5 \geq H > 3$ | D3 | |
| $3 \geq H$ | D4 | velký jas okolí |
| | D5 | střední jas okolí |
| | D6 | malý jas okolí |

4. Zdroje rušivého světla

Zdrojem světelného rušení jsou svítidla a světlomety v osvětlovacích soustavách, které se používají pro:

a) Osvětlení pozemních komunikací

Osvětlení pozemních komunikací zahrnuje osvětlení v městských aglomeracích (ulice, chodníky, cyklistické stezky, přechody pro chodce), osvětlení důležitých dopravních uzlů a dálkových komunikací, osvětlení dopravních terminálů (autobusových i vlakových nádraží, překladiště, přístavy apod.) a osvětlení tunelů a podjezdů. Je zřejmě nejpočetnější formou venkovního osvětlení a má tudíž velký podíl na vzniku rušivého světla.

b) Osvětlení interiérů

Jde o osvětlení bytových a administrativních prostorů, obchodních jednotek a průmyslových hal, kdy dochází k šíření světla v nočních hodinách prostřednictvím oken a výloh.

c) Osvětlení letišť

Je záměrně uvedeno odděleně od pozemních komunikací, neboť jsou zde z důvodů bezpečnosti letového provozu kladeny zvýšené nároky na omezování rušivého světla, zejména oslnění. Od osvětlení pozemních komunikací se také liší tím, že svítidla mohou být přímo určena ke svícení do horního poloprostoru.

d) Osvětlení venkovních sportovišť

Je specifické použitím svítidel s výkonnými zdroji světla pro dostatečné osvětlení velkých ploch a prostor.

e) Osvětlení venkovních pracovišť

Jedná se o osvětlení velkých výrobních závodů a průmyslových zón.

f) Architektonické osvětlení

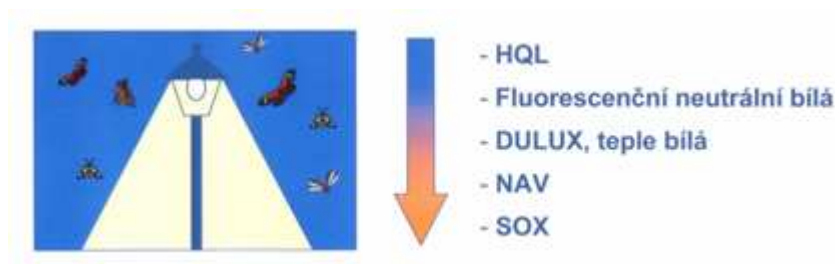
Osvětlení významných památek a budov, různých monumentů a osvětlení parků a zahrad. V této oblasti se často používají svítidla svítící do horního poloprostoru, která mají významný podíl na závojevém jasu oblohy.

g) Reklamní osvětlení

Jedná se o osvětlení billboardů, reklamních ploch, směrových ukazatelů obchodních center, osvětlení čerpacích stanic apod. Hlavním problémem bývá nepřiměřeně vysoká hladina osvětlenosti těchto ploch.

4.1 Rušivé účinky světelných zdrojů

Posouzení světelných zdrojů z hlediska jejich rušivých účinků souvisí s jejich spektrem. Venkovní osvětlení ruší hmyz, který je v noci aktivní tím, že sbírá potravu a rozmnožuje se. Jakmile je hmyz přilákan světlem, dochází k jeho dezorientaci, hmyz nemůže uniknout a velké množství ho zahyne. Na rozdíl od člověka je hmyz schopen vidět ultrafialové záření. Hodně druhů hmyzu dosahuje maximální vnímání v rozsahu 300 - 400 nm. Výbojky pro použití ve veřejném osvětlení přitahují hmyz v tomto pořadí:



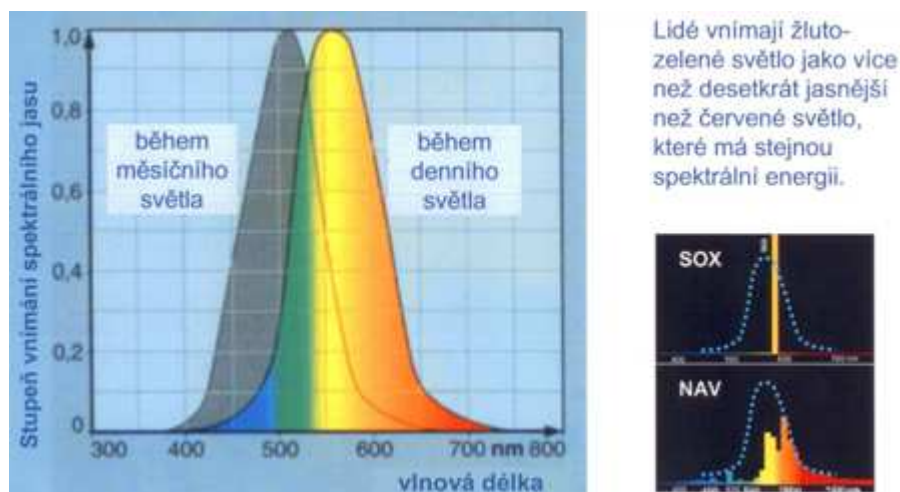
Obr. 4.1: Srovnání výbojek ve VO podle toho do jaké míry přitahují hmyz [8]

Poměr přilákaného hmyzu:

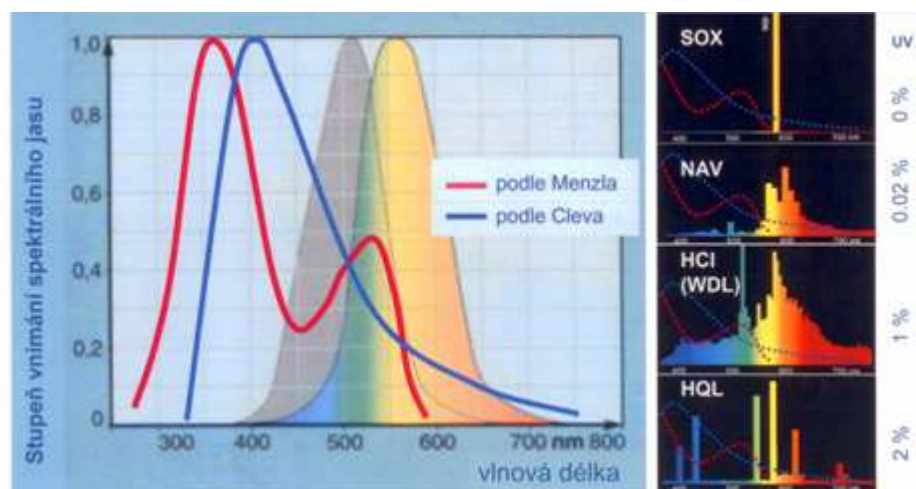
$$\text{výbojky NAV} : \text{výbojky HQL} = 1:10...50$$

Kromě toho, že změníme druh světelného zdroje, můžeme snížit rušení hmyzu tak, že snížíme úhly vyzařování světla. To znamená:

- nepoužívat žádné volně svítící výbojky, žádná svítidla kulatého tvaru,
- používat optiku k tomu, aby se světlo navádělo směrem k ulici a zamezilo se rozptylování světla směrem do okolí (např. používat zrcadlovou optiku, ploché krycí sklo),
- používat snížení výkonu.



Obr. 4.2: Vnímání jasu u člověka [8]



Obr. 4.3: Vnímání jasu u nočního hmyzu [8]

Je zřejmé, že sodíkové výbojky z hlediska rušení hmyzu se projevují menším účinkem než ostatní světelné zdroje.

Důležitost měření spektrálních vlastností světelných zdrojů vyplývá rovněž z toho, že obloha se chová selektivně, tudíž neodráží světelné paprsky různých vlnových délek stejně. Měřením spektrálních odrazných vlastností oblohy bude nutno věnovat pozornost v dalších výzkumných pracích.

4.2 Rušivé účinky svítidel

Svítidla a světlomety je možné rozdělit do skupin podle jejich vlastností, kdy zvoleným kritériem bude prostorové rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru (Tab. 4.1). Nejjednodušší z hlediska rušivého světla je rozdělení svítidel na plně cloněná a necloněná (Obr. 4.4), kde důležitým parametrem, omezující distribuci světelného toku, je úhel clonění. Je to úhel mezi vodorovnou rovinou distribuční plochy svítidla a světelným paprskem vyzařujícím z povrchu zdroje. Doplnkový úhel do 90° k úhlu clonění je tzv. úhel otevření svítidla [8].

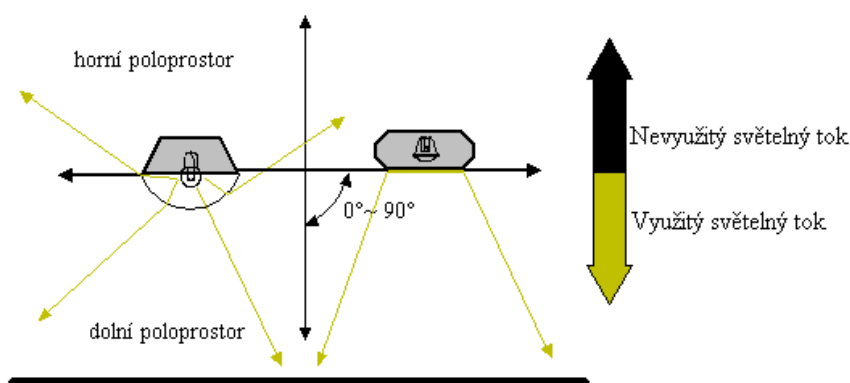
Tab. 4.1: Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku

| Označení svítidla | Světelný tok do dolního poloprostoru (%) | Světelný tok do horního poloprostoru (%) | Značení podle DIN 5040 |
|-------------------|--|--|------------------------|
| Přímé | 90 až 100 | 0 až 10 | A |
| převážně přímé | 60 až 90 | 10 až 40 | B |
| Smíšené | 40 až 60 | 40 až 60 | C |
| převážně nepřímé | 10 až 40 | 60 až 90 | D |
| Nepřímé | 0 až 10 | 90 až 100 | E |

Dalším důležitým parametrem svítidel je jeho světelná účinnost, tedy poměr světelného toku svítidla ϕ_{sv} a instalovaného světelného toku ve svítidle ϕ_z .

$$\eta = \frac{\phi_{sv}}{\phi_z} \quad [- ; \text{lm}, \text{lm}] \quad (4.1)$$

Účinnost svítidla je závislá na typu zdroje, na jeho poloze ve svítidle a hlavně na konstrukci a tvaru svítidla, ale také na světelně technických parametrech materiálu použitých k optickým procesům ve svítidle. Otevřená svítidla mají vyšší účinnost, neboť podíl toku vycházejícího přímo ze svítidla je závislý na úhlu clonění.



Obr. 4.4: Rozdělení distribučního prostoru na dvě části a šíření světelného toku ze svítidla necloněného a plně cloněného [8]

Na velikosti rušivého světla, které je vyzářeno směrem k obloze, má rozhodující podíl světlo vycházející ze svítidel umístěných ve venkovním prostředí. Samozřejmě přispívá i světlo, které uniká z interiéru do vnějšího prostoru nebo jiné zdroje světla. Pro všechny tyto zdroje platí v podstatě stejné zákonitosti jako pro světlo vyzářené ze svítidla umístěného ve exteriéru.

Ze svítidla je vyzařováno světlo do prostoru. Rozlišuje se světlo, které ze svítidla vystupuje do dolního poloprostoru Φ_D (část prostoru vymezená vodorovnou rovinou procházející svítidlem a směrem k zemi, terénu), a světlo, které ze svítidla vystupuje do horního poloprostoru Φ_H (nad popsanou vodorovnou rovinu směrem k zenitu). Svítidlo je samozřejmě v pracovní poloze, která nemusí být vždy vodorovná.

Ve volném terénu bez překážek, terénních nerovností, je úloha poměrně jednoduchá. Přidáme-li navíc podmínku, že je svítidlo umístěno vodorovně, pak lze vlastnosti svítidla z pohledu rušivého světla stanovit poměrně jednoduše. Dalším předpokladem je, že terén odráží světlo rovnoměrně všemi směry. Odraz je definován činitelem odrazu světla ρ_T .

Světelný tok vyzářený na oblohu Φ_o je součtem světelného toku vyzářeného ze svítidla přímo a světelným tokem vyzářeným do dolního poloprostoru, který se k nebi odrazí v míře závislé na velikosti činitele odrazu:

$$\Phi_o = \Phi_H + \Phi_D \cdot \rho_T \quad [\text{lm}; \text{lm}, \text{lm}] \quad (4.2)$$

Příklad: Svítidlo má podle katalogu účinnost 78,9% a do dolního prostoru směřuje 97% světelného toku. To znamená, že $\Phi_D = 0,789 \times 0,97 = 0,742$ a $\Phi_H = 0,789 \times 0,03 = 0,024$. Bude-li ve svítidle osazen zdroj se světelným tokem 10.000 lumen a terén bude mít činitel odrazu světla 20% = 0,2, pak k obloze bude vyzářen světelný tok $\Phi_o = 0,024 \times 10.000 + 0,742 \times 10.000 \times 0,2 = 1.724$ lumen.

Složitější situace nastává v reálném prostoru. V tom se nacházejí překážky (budovy, zeleň, stěny), terén není vodorovný. Vymodelovat takovou situaci by bylo nesmírně pracné. Přispívá fakt, že ne všechny plochy jsou lambertovské, tj. odráží světlo nejen rozptýlně, ale též více či méně zrcadlově (zákon úhlu dopadu a odrazu světla). V dalším textu je tedy uvažována jednodušší situace modelující reálný prostor pomocí lambertovských ploch.

Ze svítidla (zdroje světla) dopadá na plochu dS světelný tok $d\Phi$. Lze jej stanovit pomocí osvětlenosti E plochy

$$d\Phi = E \cdot dS \quad [\text{lm}; \text{lx}, \text{m}^2] \quad (4.3)$$

Předpokládá se, že plocha odráží světlo rovnoměrně rozptýlně. Potom je její jas L konstantní ve všech směrech

$$L = \frac{E \cdot \rho}{\pi} = \frac{d\Phi \cdot \rho}{dS \cdot \pi} \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lx}, \text{lm}, \text{m}^2] \quad (4.4)$$

Svítivost plochy je ve směru Alfa

$$I_{\alpha} = L \cdot dS_{\alpha} = \frac{d\Phi \cdot \rho \cdot \cos \alpha}{\pi} \quad [\text{cd}; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{m}^2, \text{lm}] \quad (4.5)$$

Nejzajímavější je však posouzení, jak velké množství světla je určitým směrem plochou vyzářováno.

To lze stanovit aplikací známého vztahu

$$\Delta\Phi_{\alpha} = I_{\alpha} \cdot d\Omega_{\alpha}, \quad [\text{lm}; \text{cd}, \text{sr}] \quad (4.6)$$

kde $\Delta\Phi_{\alpha}$ je světelný tok vyzářený do prostorového úhlu $d\Omega_{\alpha}$ a I_{α} je střední svítivost v tomto prostorovém úhlu.

Pokud se zvolí prostorové úhly jako „klasické“ kulové vrstvy, pak bude světelný tok do takového prostorového úhlu:

$$\Delta\Phi_{\alpha} = I_{\alpha} \cdot 4\pi \cdot \sin(\alpha_s) \cdot \sin\left(\frac{\Delta\alpha}{2}\right) \quad [\text{lm}; \text{cd}] \quad (4.7)$$

Bez dalšího odvozování - po dosazení vztahu (4.5) do (4.7) lze stanovit, že extrém (maximum) této funkce nastává pro úhel 45° od normály.

Dosažený výsledek je zkrácen tím, že porovnáváné prostorové úhly mají rozdílné velikosti. Nejmenší je pro svítivosti ve směru normály (maximální svítivost), největší pro úhly blížící se 90° , kdy se svítivost blíží nule.

Přesnější představu o rozložení světelného toku lze získat tak, že se prostor rozdělí na shodné prostorové úhly. V takovém případě je logicky světelný tok přímo úměrný svítivosti. Maximum je tedy vyzářeno ve směru normály.

Z uvedeného vyplývá, že pro vodorovné plochy bude maximální světelný tok vyzářen ve směru k zenitu; pro svislé plochy pak ve směru vodorovném. Budou-li v prostoru dvě shodné plochy – vodorovná a svislá - ozářené stejně velkým světelným tokem, pak je zřejmé, že maximum světelného toku bude vyzářeno pod úhlem 45° . Daný vztah platí pouze za předpokladu, kdy se plochy nebudou navzájem ovlivňovat (např. budou od sebe dostatečně vzdálené). Za uvedeného předpokladu (neovlivňování) se bude maximum světelného toku přesouvat k zenitu v případě, že činitel odrazu vodorovné plochy bude vyšší než plochy svislé a naopak. Podobně tomu bude i v případě, že jedna z ploch bude větší než druhá (při stejném jasu ploch) nebo na jednu z nich bude dopadat větší světelný tok než na druhou (rozdílný jas ploch).

V reálném prostoru se plochy samozřejmě ovlivňují. To znamená, že z jedné plochy se světlo odráží na plochu druhou a naopak. Avšak, ploch je v reálném prostoru obvykle větší počet. Navzájem si předávají světelné toky nebo se naopak stíní. Každá osvětlená plocha se stává sekundárním světelným zdrojem, který osvětluje okolní plochy nebo směřuje světlo přímo na oblohu. Ostatně i obloha se stává sekundárním

světelným zdrojem, který se zúčastňuje popsaného přerozdělování vyzářeného světla. Obloha však má jiný charakter rozptylu světla než lambertovská plocha.

Stanovit výsledný světelný tok na oblohu znamená určit množství světla po mnohonásobných odrazech mezi jednotlivými plochami. Počet odrazů je závislý na velikosti a činiteli odrazu světla jednotlivých ploch. Světelný tok, který si předávají dvě plochy, je po dvou odrazech na každé z nich snížen na hodnotu $\rho_1^2 \times \rho_2^2$.

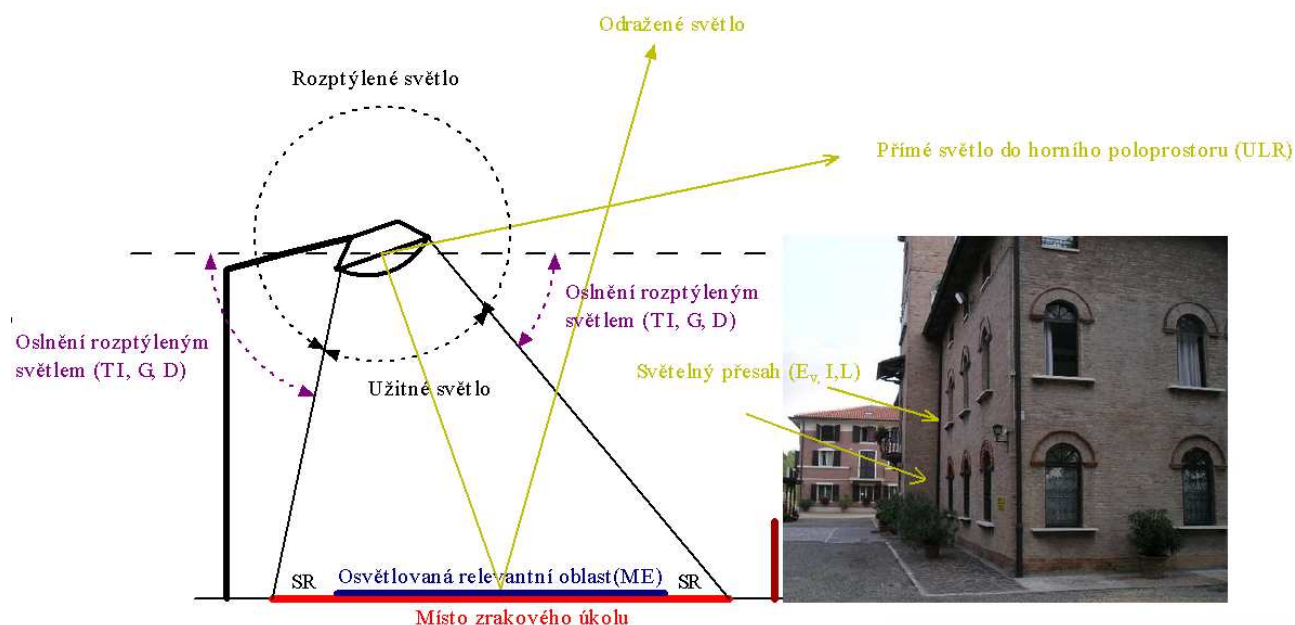
Například – budou-li obě plochy velmi světlé o činiteli odrazu 0,5, pak se po oněch odrazech sníží světelný tok na hodnotu $0,5^4 = 0,063$; bude-li jedna z nich tmavší, např. s činitelem odrazu světla 0,2, pak dojde k poklesu na 0,01.

V reálném světě lze předpokládat spíše nižší hodnoty činitele odrazu – $0,2 \div 0,3$; pro 0,25 je snížení po odrazech 0,004, to je již zanedbatelná hodnota [8].

5. Kategorizace rušivého světla

Z hlediska důsledků rušivého světla na proces vidění a vlivů na životní podmínky můžeme kategorizovat rušivé světlo do těchto čtyř skupin:

- Zvýšený jas oblohy zhoršující viditelnost kosmických těles a jevů ve vesmíru
- Různé formy oslnivého světla
- Přesahující světlo osvětlující i plochy mimo místo zrakového úkolu
- Nehospodárně využitá elektrická energie



Obr. 5.1: Rušivé světlo – světlo rozptýlené mimo oblast zrakového úkolu

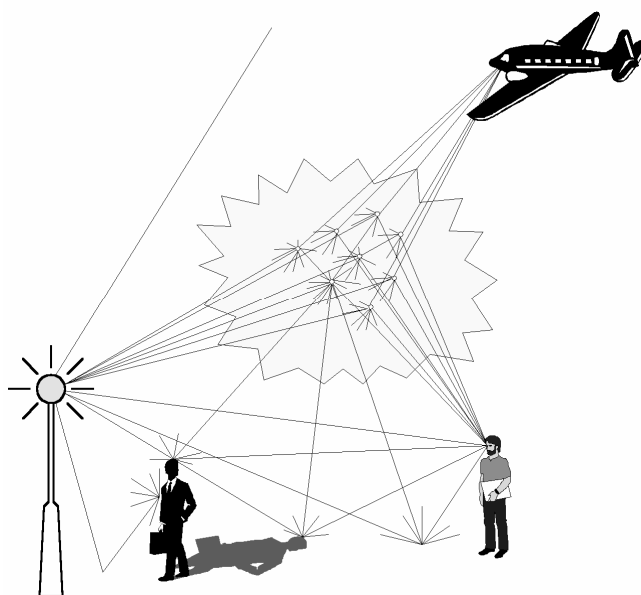
5.1 Jas oblohy

Jas oblohy je způsoben světelným tokem unikajícím primárně z umělých světelných zdrojů, tzn. svítidel venkovního osvětlení a sekundárně odrazem od povrchů na nichž dochází k odrazu světelného toku. Světelný tok se pak šíří atmosférou, která tvoří prostor kolem Země. Hmotnost atmosféry je gravitací držena až do vzdálenosti 30 až 40 tisíc km od Země a skládá se z plynů v poměru 78 % dusíku, 21 % kyslíku, 1 % ostatních plynů, vodních par, prachových částic a aerosolů. Rozložení hmotných částic v atmosféře je nerovnoměrné. Do 20 km od Země je soustředěno 90 % hmotnosti atmosféry, a proto sama atmosféra není homogenní a je rozdělena na několik pásem s různými vlastnostmi. Změnu homogenity atmosféry ovlivňuje i rychlost a směr větru. Důležitou oblast tvoří pásmo do 15 km, kde se projevuje převážná většina klimatických změn, které mají vliv na světelné vlastnosti atmosféry.

Vlastnosti ovlivňující prostupnost světelného záření atmosférou jsou dány chemickým složením atmosféry, jako jsou vodní páry, prachové částice a aerosoly tvořící bariéru propustujícímu světlu. Každá taková mikročástice světelný tok částečně odrazí $\Phi\rho$, částečně pohltí $\Phi\alpha$ a částečně projde jejím povrchem $\Phi\tau$ (vodní pára). Pro celkový světelný tok platí :

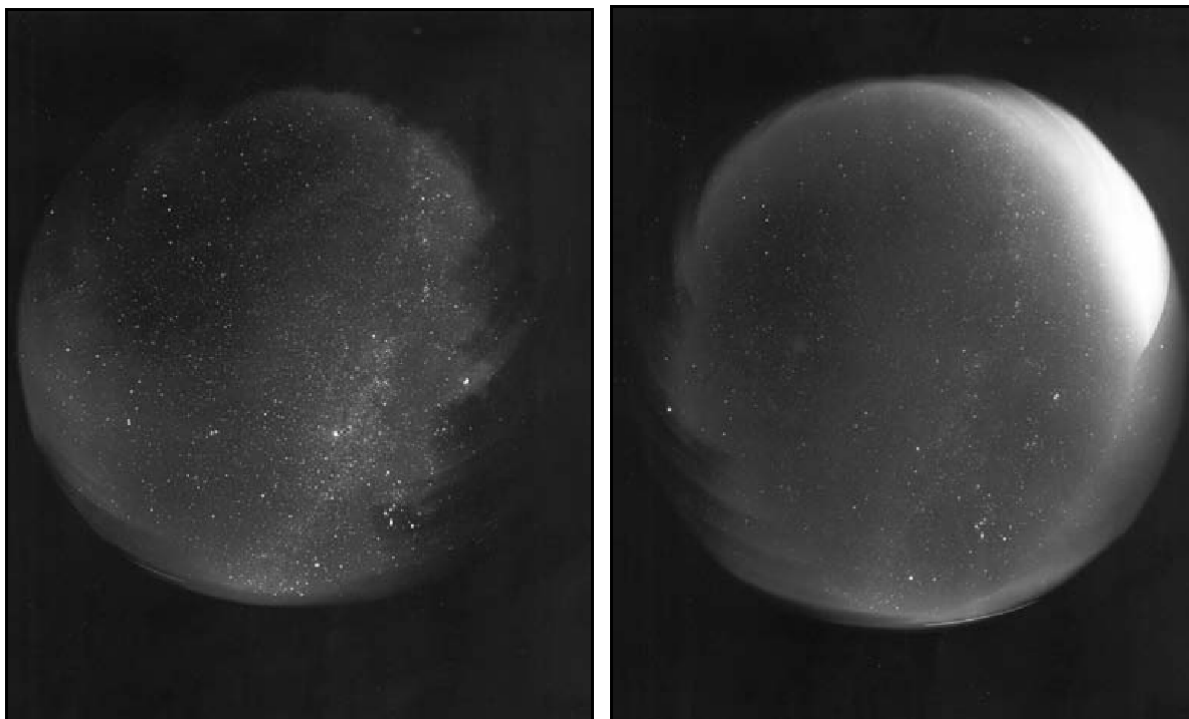
$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\alpha} + \phi_{\tau} \quad [\text{lm}] \quad (5.1)$$

Důležitá je zejména odražená složka světelného toku $\Phi\rho$, která se zpět vrací směrem k pozorovateli, nebo opět naráží na zmíněné bariéry a je znovu rozptylována, pohlcována a propouštěna. Výsledkem je interakce světla a prostředí, projevující se vznikem tzv. závoje jasů (Obr. 5.2). Díky zvýšení jasů oblohy klesá kontrast mezi jasy objektů na obloze a jasy oblohy, který zvyšuje adaptační úroveň zrakového orgánu. To snižuje pozorovatelnost objektů za touto interakcí, které jsou zájmem např. astronomického pozorování. Závoje jasů oblohy se pak se svým významem pro astronomickou praxi stává hlavním tématem problému rušivého světla.



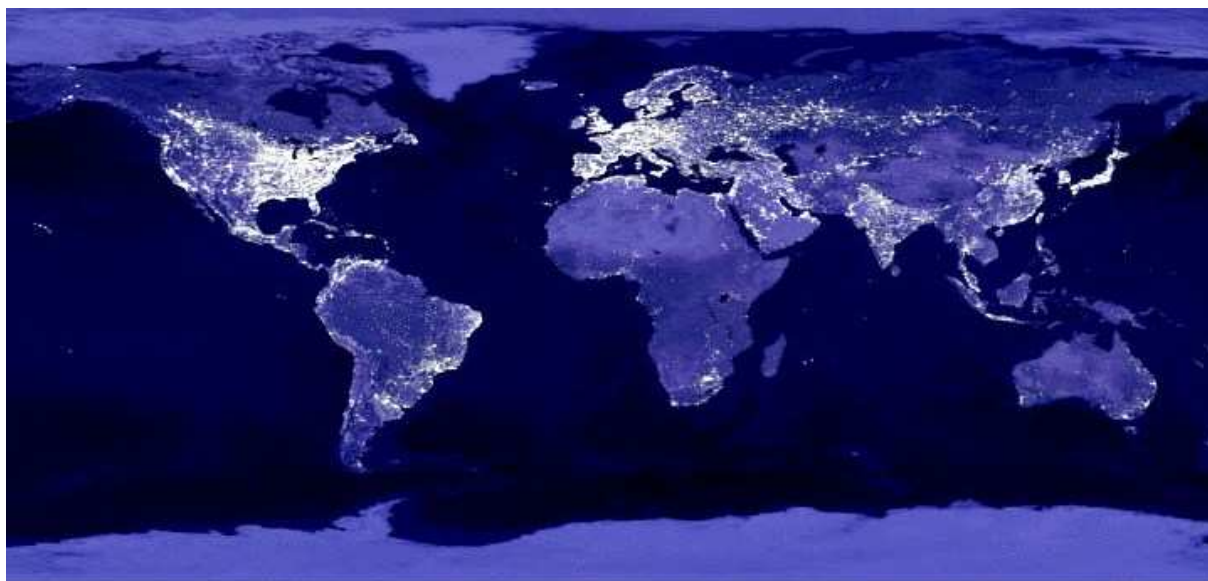
Obr. 5.2: Rozptyl světla na částicích a vznik závoje jasů [24]

Jas oblohy je tvořen také přirozenými zdroji záření, které mají původ v záření pocházejícím z nebeských zdrojů a luminiscenčních procesů v horních vrstvách zemské atmosféry jako jsou atmosférické záření, zodiakální záření a zářením hvězd a mlhovin. Atmosférické záření je sluneční záření odražené od částic nacházející se v atmosféře. Zodiakální záření je způsobeno odrazem slunečních paprsků od meziplanetárního prachu.

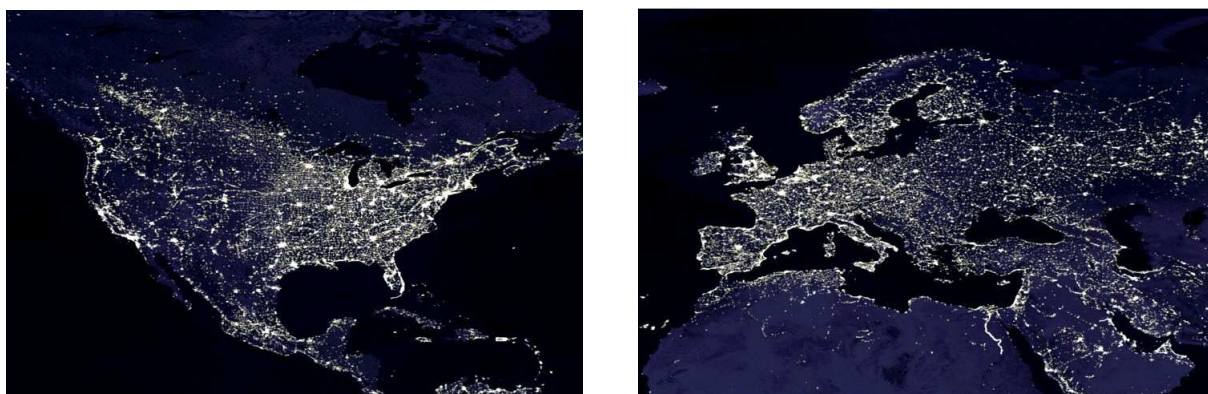


Obr. 5.3: Fotografie oblohy nad AV ČR v Ondřejově [11]

Fotografie byly pořízeny tzv. celooblohovou kamerou na Astronomickém ústavu AV ČR v Ondřejově. První, na které je zachyceno výrazně více hvězd a obloha je tmavší, byla pořízena v roce 1977. Druhá vznikla po 27 letech v roce 2004. Obloha je zde shodně orientována. Porovnání fotografií jasně ukazuje zvýšení rušivého světla.



Obr. 5.4: Mapa umělých světelných zdrojů světa v nočních hodinách (Foto NASA, 27. listopad 2000) [32]



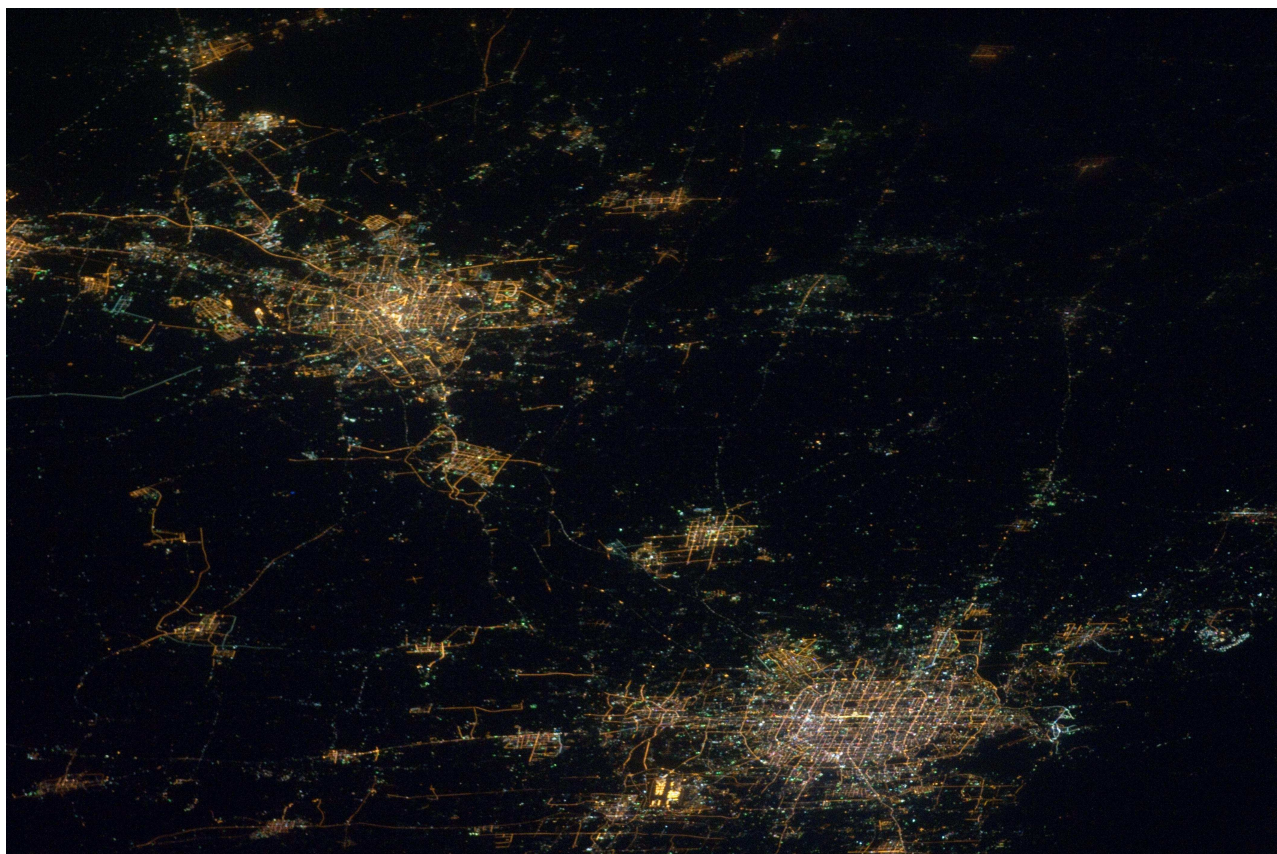
Obr. 5.5: Mapa umělých světelných zdrojů Severní Ameriky a Evropy v nočních hodinách (Foto NASA, 27. listopad 2000) [32]

Efekt závoje jasů je nejvíce patrný nad oblastmi s hustou aglomerací. Obr. 5.4 ukazuje hustotu umělých světelných zdrojů na Zemi. V Severní Americe pozorujeme nejvýrazněji tyto zdroje v oblastech východního pobřeží a v Evropě jsou to západní země jako například Belgie, Nizozemí a Velká Británie (Obr. 5.5).



Obr. 5.6: Floridský poloostrov v nočních hodinách (Foto NASA, 28. prosinec 2010) [32]

Noční pohled na dolní dvě-třetiny Floridského poloostrova byl zaznamenán Expedicí 26 posádky na palubě Mezinárodní kosmické stanice dne 28. prosince 2010. Cape Canaveral a Kennedy Space Center jsou velmi dobře osvětlené na pravé straně poloostrova směrem od Atlantského oceánu. Oblast Tampy a Mexického zálivu je vidět v levé horní části Obr. 5.6. Na severu jsou patrné části jižní Georgie.



Obr. 5.7: Peking a Tianjin v nočních hodinách (Foto NASA, 28. prosinec 2010)[32]

Tato pozoruhodná fotografie (Obr. 5.7) nabízí dvě z nejlidnatějších měst Číny - Peking a Tianjin. Obě se nachází v severní části země, poblíž Bohajského zálivu. Podle odhadů Organizace spojených národů z roku 2010 činí počet obyvatel v Pekingské metropolitní oblasti přibližně 12 milionů a v Tianjinské metropolitní oblasti se odhaduje na více než 7 milionů.

Fotografie pořízená v noční době nočního klidu dramaticky ilustruje rozsah obou metropolitních oblastí. Menší město Langfang, které se nachází uprostřed mezi Pekingem a Tianjinem, je také jasně vidět, stejně jako několik dalších menších rozvinutých oblastí na severovýchod. Tmavá místa v okolí ozářených měst jsou především zemědělské oblasti, kde se pěstuje především pšenice a kukuřice. Pravidelný mřížový vzor města je jasně viditelný. Jsou zde i vidět soustředné kruhy kolem hlavních silnic, kde v posledních letech expandovala centra měst. Tianjin je hlavní obchodní centrum s připojením k námořním přístavům na Bohajském zálivu.

Je třeba ovšem upozornit, že světelný tok, který lze pozorovat s družic či mezinárodních kosmických stanic už nemá vliv na osvětlenost na povrchu Země. Je to světelný tok, který se neodrazil či nerozptýlil v atmosféře, ale světelný tok směřující do vesmíru. Nejedná se tedy již o rušivé světlo, ale můžeme hovořit o nehospodárně využitých elektrické energii, jelikož tento světelný tok je nehospodárně využit.

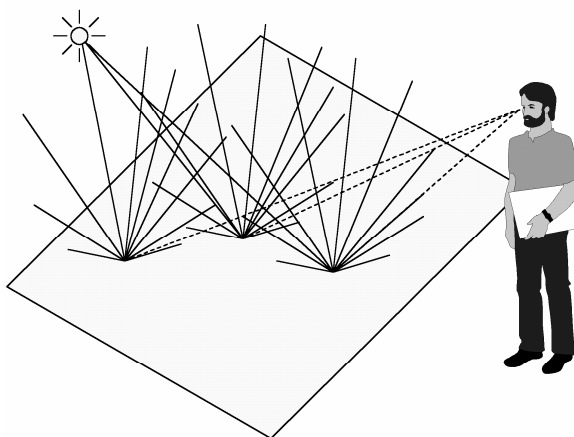
5.2 Optické zákony, vznik závoje jasů

Proces vidění je založen na dostatečném množství světelného toku dopadajícím na sítnici oka, který vybudí zrakový vjem. Pozorovaný předmět, jenž naše oko ve svém zorném poli detekuje, má dostatečnou odraznost tzn., že v dostatečné intenzitě odráží světelný tok z primárního a ze sekundárních zářičů v daném prostoru. Zrakový orgán však využije jen část takového světelného toku. Pravděpodobnost dopadu světla na sítnici je velmi malá. Množství světla v prostoru je tedy mnohonásobně větší, než je požadavek zrakového orgánu v daném místě. Je však žádoucí, abychom viděli v každém bodě prostoru a ve všech úhlech pohledu. Jen dostatečné množství odraženého toku přinese nějakou informaci o prostoru. Nevyužitý světelný tok v jedné části prostoru, může být hlavním nositelem informace v jiné části prostoru.

Světelné záření prostupující atmosférou reaguje s tímto prostředím na základě třech optických zákonů a to o odrazu, prostupu a absorpci.

5.2.1. Odraz světelného záření

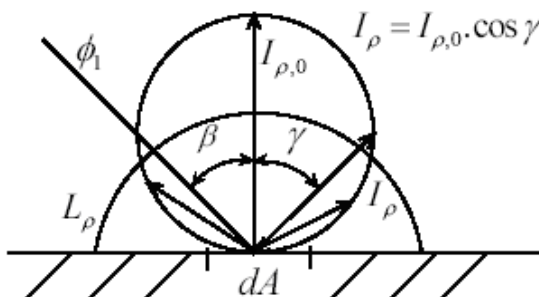
Odraz nastává tehdy, vrátí-li se záření od povrchu nebo prostředí beze změny kmitočtu jeho monochromatických složek. Difúzní povrch rozptyluje dopadající světlo do různých směrů, což přispívá k rovnoměrnosti světla v prostoru. Každý element povrchu odráží část světla k oku (Obr. 5.8). Difúzní odraz nastává na strukturovaném povrchu nebo na částicích rozptýlených v atmosféře [11].



Obr. 5.8: Difúzní povrch rozptylující světlo všemi směry [24]

5.2.1.1. Rovnoměrně rozptylný, difúzní odraz

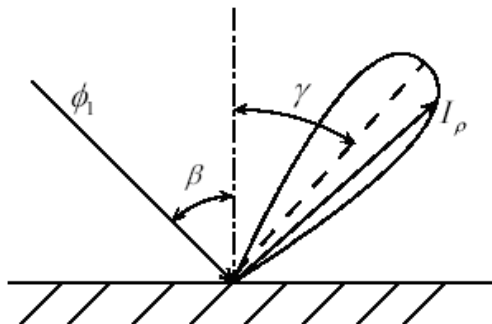
Je patrný u Lambertova zářiče, jehož odražený tok přináší rovnoměrnou informaci o jasů (znázorněno indikatrixovou křivkou svítivosti v rovině řezu procházející hlavním směrem rozptylu). Takový povrch je v homogenním prostředí ve všech směrech pohledu stejně jasný a nezáleží, z jaké vzdálenosti je pozorován (Obr. 5.9).



Obr. 5.9: Rovnoměrně rozptylný odraz

5.2.1.2. Směrově difúzní odraz

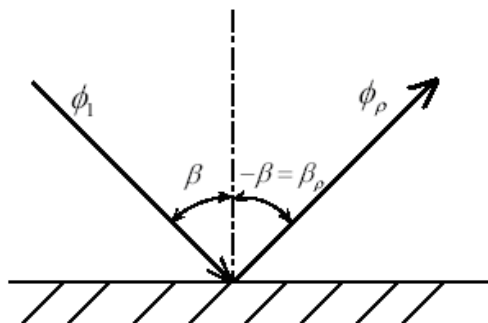
Má převažující složku odraženého záření v některém směru (Obr. 5.10).



Obr. 5.10: Směrově rozptylný odraz

5.2.1.3. Zrcadlový odraz

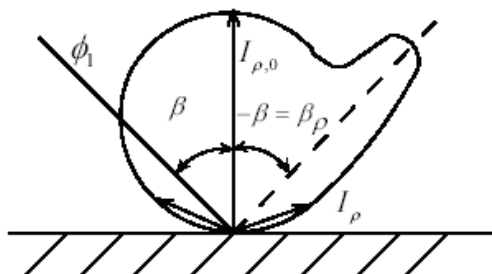
Nastává na hladkých plochách a takový povrch odráží světlo v každém bodě jen jedním směrem. Úhel od normály plochy k dopadajícímu paprsku záření je roven úhlu odrazu. Odražený paprsek leží v rovině dopadu a je odkloněn na protilehlou stranu od normály (Obr. 5.11).



Obr. 5.11: Zrcadlový odraz

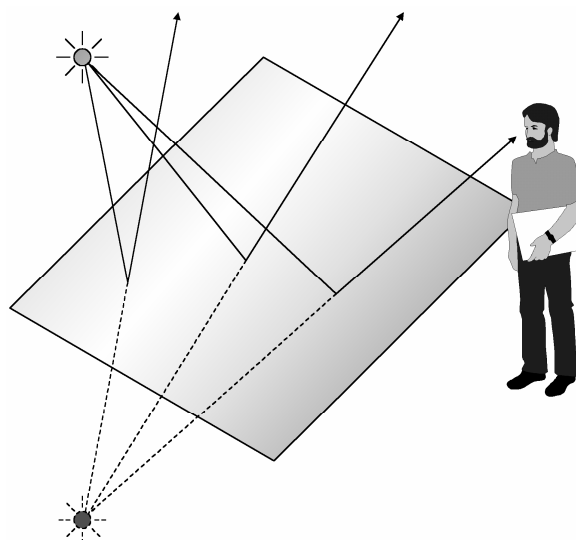
5.2.1.4. Smíšený odraz

Je odraz částečně difúzní a částečně zrcadlový (Obr. 5.12).



Obr. 5.12: Smíšený odraz

Zrcadlové povrchy rozptylují tok určitým směrem, ale pravděpodobnost dopadu odraženého toku na sítnici pozorovatele je malá. Na Obr. 5.13 pouze jediný bod odráží světlo k oku pozorovatele, vzniká iluze existence zdroje světla za zrcadlem. Pozorovatel ve směru odraženého toku vnímá větší jas zrcadlového povrchu než pozorovatel v jiném pohled daného povrchu. Kombinace ideální zrcadlové plochy a jediného bodového zdroje světla způsobí, že pozorovatel uvidí pouze tu část zrcadlové plochy, od níž se dopadající světelný tok odráží na sítnici pozorovatele.



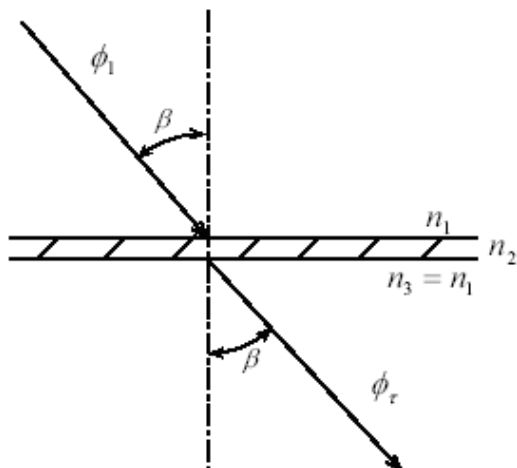
Obr. 5.13: Zrcadlový povrch odráží světlo v každém bodě jen jedním směrem [24]

Světelný tok, který se odráží od povrchů směrem k zrakovému orgánu pozorovatele a prochází optickou soustavou oka, vytváří na sítnici specifické rozložení světelné energie. Vyhodnocením této energie vzniká zrakový vjem. Odražené světlo, které se v jednom směru může zdát nadbytečné a není pozorovatelem využito, se může v jiném místě prostoru stát základní nositelkou informace. Světelný tok je nositelem informace o okolním prostředí a míra sekundární emise je dána činitele odrazu.

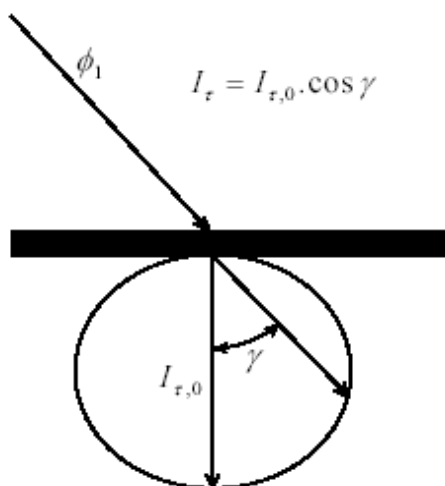
5.2.2. Prostup světelného záření

Prostup světelného záření prostředím se děje bez změny kmitočtu jeho monochromatických složek. Prostup může být buď přímý (Obr. 5.14) nebo rozptylový (difúzní). Rozptylový prostup záření prostředím rozdělujeme podle prostorového rozložení světelného toku do dvou kategorií:

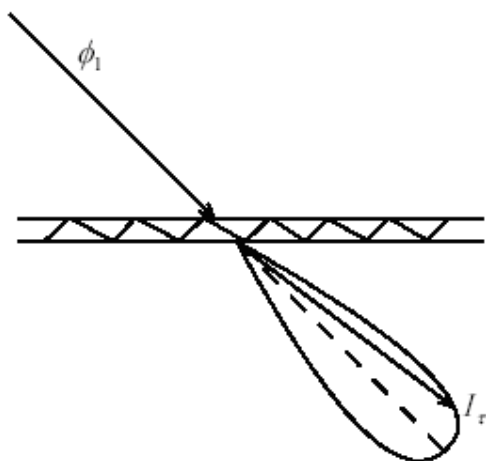
- **Rovnoměrně rozptylný**, kde je vystupující záření prostorově stejně rozděleno pro všechny směry, do kterých je záření vyzařováno (Obr. 5.15).
- **Směrově rozptylný**, kde vystupující záření v určitém směru převažuje (Obr. 5.16).
- **Smíšený prostup** je kombinací přímého a rozptylného prostupu (Obr. 5.17).



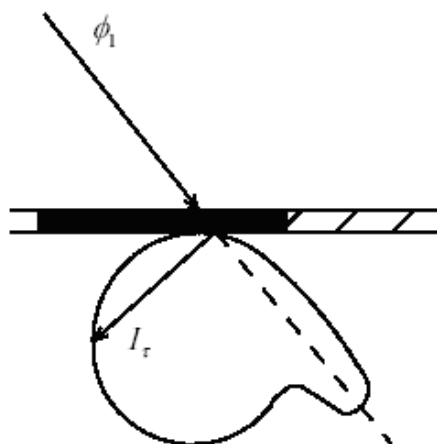
Obr. 5.14: Přímý prostup



Obr. 5.15: Rovnoměrně rozptylný prostup



Obr. 5.16: Směrově rozptylný prostup



Obr. 5.17: Smíšený prostup

5.2.3. Absorpce světelného záření

Pohlčení světelného záření vzniká na hmotném prostředí, kde se záření transformuje na jinou energii (tepelnou). Absorpce je dána podílem toku pohlčeného prostředím a toku dopadajícího.

Činitel absorpce α :

$$\alpha = 1 - \rho - \tau \quad [-] \quad (5.2)$$

je doplňujícím činitelem v součtu činitelů odrazu a prostupu tak, aby byla zachována energetická bilance světelného toku (5.1).

Vyjádřenou rovnici světelných toků dělíme celkovým tokem Φ

$$\frac{\phi_{\rho}}{\phi} + \frac{\phi_{\tau}}{\phi} + \frac{\phi_{\alpha}}{\phi} = \rho + \tau + \alpha = 1 \quad (5.3)$$

Pro neprůsvitné částice platí $\rho + \alpha = 1$. Pro tělesa pohlcující veškeré záření platí $\alpha = 1$.

5.3 Oslnění

Oslnění je další složkou rušivého světla. Abychom rozlišili předměty v zorném poli je nutné, aby měly tyto předměty různé jasy. Tím vynikne jejich prostorová kompozice a struktura. Rozhraní se může vytvořit na styku ploch různých jasů. Možnost zpozorování předmětu je dána rozdílem jasu předmětu kritického detailu L_a a jasu bezprostředního okolí L_b . Kontrast jasu nám pak udává, za předpokladu rovnoměrného jasu kritického detailu i bezprostředního okolí, stupeň rozeznatelnosti:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad [-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.4)$$

Jestliže je kontrast jasu či jas samotný větší, než na jaký je zrakový orgán adaptován, může vzniknout nepříznivý stav zraku – Oslnění. Příčinou oslnění může být předimenzované nebo špatně nasměrované svítidlo. Oslnění je nepříznivý stav zraku, kdy je zrak vystaven většímu jasu či kontrastu, než na jaký je adaptován. Oslnění ruší zrakovou pohodu, zhoršuje nebo dokonce znemožňuje vidění, zvyšuje celkovou únavu, může být příčinou úrazu a v krajním případě může poškodit vážně zrakový orgán.

Oslnění rozdělujeme do těchto čtyř kategorií:

- Absolutní oslnění - způsobeno velkým jasem. Při denním osvětlení jsou to jasy větší než $200\,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, při umělém osvětlení je to jas větší než $3000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, ve tmavém prostředí osluňují jasy okolo $1000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Oslnění vyvolá dočasnou neschopnost vidění.
- Adaptační oslnění - způsobeno náhlou změnou adaptačního jasu. Tento jev nastává při přechodu z tmavého prostředí do světlejšího (Obr. 5.18). Změny jasu nemají být větší než 1:10.
- Relativní oslnění - nastane při překročení meze adaptability v oblasti kontrastní citlivosti. Vzniká v prostředí, kde je jas zdrojů značně větší, než je jas adaptační anebo při nevhodném rozložení jasů v zorném poli.
- Závojové oslnění - způsobeno vyšším jasem rozptýlného prostředí, které se nachází před pozorovaným předmětem. Závojové oslnění je typické například pro venkovní svítidla spínaná fotobuňkou. Zrakový orgán se adaptuje na vysoký jas a není vidět za tuto závojovou bariéru (Obr. 5.19). Také řidiči jsou konfrontováni s často měnícími se světelnými zdroji a jejich zrakový orgán se snaží adaptovat na světlejší zdroje a schopnost vidět tmavé pozadí je snížena.

Opačným efektem je jev siluetový, kdy se zrakový orgán snaží rozeznat tmavý předmět proti jasnému okolí. Zrak je přizpůsoben vysokému jasů a nerozezná málo osvětlený předmět.



Obr. 5.18: Příklad adaptačního oslnění



Obr. 5.19: Příklad závojevého oslnění

Zrak je nejcitlivější na osově oslnění - proto jas, který je při osovém vidění nepříjemný nemusí činit potíže při periferním vidění. V horní polovině zorného pole vyvolá světelný zdroj menší oslnění, než v dolní polovině (např. odrazem od lesklé plochy) [11].

Podle stupně působení na zrakový orgán se oslnění dělí do dvou kategorií:

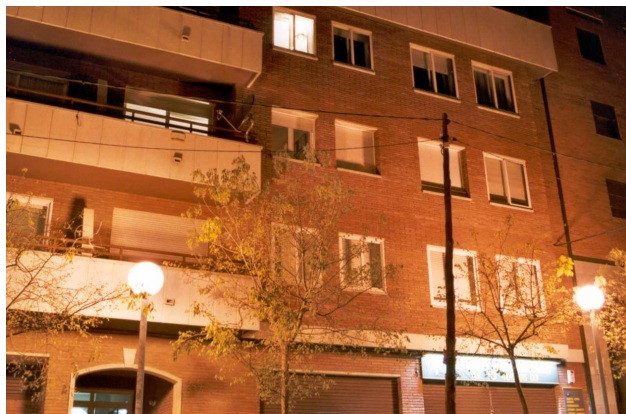
- 1. Psychologické oslnění** - pozorovatelné nebo rušivé a vyvolává subjektivní pocity zrakové nepohody, nezpůsobuje však snížení zrakových schopností.
- 2. Fyziologické oslnění** - omezující způsobující snížení zrakových schopností nebo oslepující znemožňující vidění vůbec

5.4 Světelný přesah

Do této oblasti lze zařadit

- Osvětlení na okolní zástavbu
- Jas fasád budov
- Svislá osvětlenost okolních nemovitostí

Pro hodnocení vlivu rušivého světla osvětlovacích soustav na okolí se využívá především požadavků dokumentů uvedených v kap. 3.1. Tyto směrnice CIE obsahují mimo jiné základní požadavky na omezení rušivých účinků světla, např. požadavky na vnikání světla do oken obytných budov, na omezení svítivosti svítidel a na omezení jasů fasád budov a reklamních zařízení, a to podle tzv. zón životního prostředí. Situace s různými typy osvětlovacích soustav ve venkovním prostoru vykazující rušivé světlo jsou na Obr. 5.20 a 5.21 [11].



Obr. 5.20: Příklad světelného přesahu



Obr. 5.21: Situace osvětlení pozemní komunikace, reklamního panelu a fasády kostelu

5.5 Nehospodárně využitá elektrická energie

Poslední kategorie nesouvisí přímo s vlastními světelnými projevy rušivého světla, ale vymezuje rušivé světlo z energetického a ekonomického hlediska. Podíl spotřeby elektrické energie pro osvětlování na celkové elektrické energii dodané spotřebitelům tvoří v České republice 11 %. V době energetických špiček, zejména pak v zimních měsících, se umělé osvětlení podílí až 20 % na zatížení naší elektrizační soustavy. Světelný tok, jenž je distribuován neefektivně, úzce souvisí také se ztrátami elektrické energie. Podle [9] (§1 odst.2 písm. c, d, b) nemá jas osvětlených ploch překračovat úroveň vyžadovanou bezpečnostními normami, soustavy mají být vybaveny zařízeními schopnými snížit množství vyzařovaného světla alespoň o třicet procent oproti plnému výkonu v době po dvacáté čtvrté hodině a má se využívat nejlepší dostupné techniky, která optimalizuje provoz osvětlovacích soustav. Dosáhne se tak snížení spotřeby elektrické energie a minimalizace provozních nákladů. Monitorováním provozního stavu osvětlovací soustavy a jejím řízením lze snížit náklady na údržbu a především zvýšit spolehlivost provozu.

K efektivnímu a úspornému provozu a údržbě se využívá racionalizační opatření tzn. energetického managementu, které lze rozdělit podle základních prvků VO do tří kategorií:

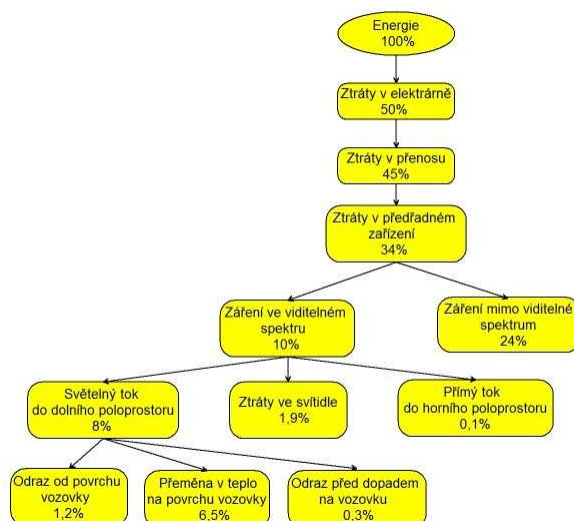
- osvětlovacího systému
- napájecího systému
- ovládacího (řídícího) systému

V osvětlovacím systému jsou to především opatření týkající se modernizace světelných zdrojů, svítidel a optimálním prostorovým uspořádání a využití světelných bodů.

V napájecím systému je to regulace napětí, regulace světelného toku a zrovnoměrnění odběru proudů v jednotlivých fázích. Tím dojde ke zmenšení ztrát v elektrických rozvodech. Nabízí se zde i možnost zmenšování počtu rozváděčů napájejících osvětlovací soustavy.

V ovládacím systému spočívá racionalizace v řízení a monitorování provozu osvětlovacích soustav.

Energetická bilance od výroby elektrické energie až po celkový světelný tok šířící se do horního poloprostoru je znázorněna na Obr. 5.22 [37].



Obr. 5.22: Energetická bilance rušivého světla

6. Vazba světelně-technických jednotek na astronomické

6.1 Vybrané pojmy z oblasti záření

Světlo je formou elektromagnetického záření a šíří se prostřednictvím elektromagnetických vln nebo hmotných částic (fotonů) a je provázáno přenosem energie. Podle vlnové teorie je charakterizováno frekvencí a vlnovou délkou a pro jeho přenos ve vakuu platí vztah

$$\lambda = \frac{c_o}{\nu}, \quad (6.1)$$

kde λ je vlnová délka [m]
 c_o je rychlost šíření světla ve vakuu, $c_o = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 ν je kmitočet [Hz]

Pokud má záření pouze jedinou vlnovou délku (kmitočet) jedná se o monochromatické záření. Reálné zdroje však vysílají směs záření o různých vlnových délkách a vyskytují-li se ve spektru všechny vlnové délky, jedná se o tzv. spojité spektrum.

Podle kvantové (fotonové) teorie je každému fotonu přiřazena energie a platí vztah

$$E_f = h \cdot \nu = m \cdot c_0^2, \quad (6.2)$$

| | | | |
|-----|-------|---|--|
| kde | E_f | je energie fotonu | [eV] |
| | h | je Planckova konstanta, $h = 6,62608 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ | |
| | m | je hmotnost fotonu za pohybu | [eV · s ² · m ⁻²] |
| | c_0 | je rychlost světla ve vakuu | [m · s ⁻¹] |

V oblasti záření se vyskytuje řada veličin a vztahů, které vycházejí z energie přenášené zářením za jednotku času. Platí zde tyto základní vztahy:

Zářivý tok

Φ_e [W] - výkon přenášený zářením

Zářivost

I_e [W · sr⁻¹] - prostorová hustota zářivého toku vyzařovaná bodovým světelným zdrojem

Intenzita ozáření (ozářenost)

E_e [W · m⁻²] - plošná hustota zářivého toku

6.2 Vybrané pojmy z oblasti světelné techniky a jejich srovnání se zářivými veličinami

| | | | | |
|--------------------------------------|---|---|----------------------|--|
| světelný tok | Φ [lm] | ≡ | zářivý tok | Φ_e [W] |
| svítivost | I [cd = lm · sr ⁻¹] | ≡ | zářivost | I_e [W · sr ⁻¹] |
| osvětlenost (intenzita osvětlení) | E [lx = lm · m ⁻²] | ≡ | intenzita ozáření | E_e [W · m ⁻²] |
| jas | L [cd · m ⁻² = lm · sr ⁻¹ · m ⁻²] | ≡ | zář | $L_e \delta$ [W · m ⁻² · sr ⁻¹] |
| světlení | M [lm · m ⁻²] | ≡ | intenzita vyzařování | M_e [W · m ⁻²] |

6.3 Vybrané pojmy z astrofyziky a jejich srovnání se zářivými světelnými veličinami

Většina hvězd září v prvním přiblížení jako absolutně černé těleso (mají spojité spektrum, vyzařují podle Planckova zákona). Hvězdy jsou považovány za bodové zdroje, které vyzařují izotropně (do všech stran stejně) a jejich zářivý výkon označují astronomové symbolem L , takže lze napsat první vztah ekvivalence mezi pojmy z oblasti záření a astrofyziky

$$\phi_e = L \quad (6.3)$$

Astronomové používají pro zářivý výkon symbol L_o , což je zářivý tok nominálního slunce a platí

$$L_o = 3,846 \cdot 10^{26} \text{ W} \quad (6.4)$$

Zářivý výkon hvězdy lze vypočítat, známe-li tzv. bolometrickou jasnost F , což je astronomický termín pro hustotu toku a platí druhý vztah ekvivalence

$$E_e = F \quad (6.5)$$

Astronomové z tradičních důvodů používají pojem tzv. hvězdné velikosti vyjadřované v jednotkách zvaných magnitudy [mag]. Hvězdná velikost je logaritmická veličina a platí pro ni tzv. Pogsonův vztah

$$m_{bol} = -2,5 \cdot \log\left(\frac{F}{F_o}\right), \quad (6.6)$$

kde m_{bol} je bolometrická hvězdná velikost [mag]
 F je bolometrická jasnost příslušné hvězdy [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
 F_o je bolometrická jasnost tzv. referenční, které odpovídá bolometrická hvězdná velikost o hodnotě $m_{bol} = 0$ [mag]. $F_o = 2,553 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ – bolometrická jasnost (hustota zářivého toku dopadajícího na povrch zemské atmosféry)

Pozn.: Kromě bolometrických veličin existuje řada dalších, podle toho jakým filtrem (senzorem) je záření vyhodnocováno. Bolometrické veličiny vyhodnocují veškeré záření, které přichází z kosmu. Má-li filtr křivku spektrální citlivosti jako lidské oko (V_λ), nazývají se tyto veličiny vizuální. Pro vizuální hvězdnou velikost bude platit vztah

$$m_v = -2,5 \cdot \log\left(\frac{I}{I_o}\right), \quad (6.7)$$

kde m_v je vizuální hvězdná velikost [mag]
 I je hustota světelného toku příslušné hvězdy [$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_o je referenční hustota světelného toku, která odpovídá vizuální hvězdné velikosti $m_v = 0$ [mag]
 $I_o = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$ - měřeno na Zemi po průchodu atmosférou

Třetí vztah ekvivalence je

$$E = I \quad (6.8)$$

Pro porovnávání dvou hvězdných velikostí je možno vztah (6.7) upravit na

$$m_{v1} - m_{v2} = -2,5 \cdot \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right), \quad (6.9)$$

Pozn.1: Podle druhů filtrů (senzorů) existují i další druhy hvězdných velikostí („nevizuálních“) charakterizovaných křivkou citlivosti příslušného detektoru a filtru, zpravidla charakterizovanou efektivní vlnovou délkou a pološířkou.

Pozn.2: Hvězdná velikost m nesouvisí se skutečnou velikostí hvězdy.

Výše uvedené hvězdné velikosti jsou pozorované, jelikož nerespektují vzdálenosti těchto hvězd. Proto se zavádí pojem absolutní hvězdné velikosti. Platí zde vztah

$$M = m + 5 \cdot (1 - \log d), \quad (6.10)$$

| | | | |
|-----|-----|--|-------|
| kde | M | je absolutní hvězdná velikost | [mag] |
| | m | je hvězdná velikost | [mag] |
| | d | je vzdálenost hvězdy v parsecích od pozorovatele na Zemi | |

Vztah znamená, že se „přenášejí“ všechny hvězdy do jednotné vzdálenosti

10 pc (parseků) = 32,6 světelných roků = $3,08568 \cdot 10^{17}$ metrů

Pozn.3: Například Slunce má

hvězdnou velikost $m_v = -26,7$ mag

absolutní hvězdnou velikost $M = -4,8$ mag

Hvězdy se dělí do 7 hlavních spektrálních tříd podle rozdílných teplot hvězdných atmosfér. Tyto teploty se pohybují od 3 300 K (černá barva) až do 35 000 K (barva modrobílá). Naše slunce má teplotu povrchu 6 000 K a barvu žlutou. Viditelnost hvězd na nebi se posuzuje podle hvězdné velikosti m_v . Za nejlepších

pozorovacích podmínek prostým okem jsou viditelné hvězdy o hvězdné velikosti $m_v = 6$ mag, při použití triedru $m_v = 9$ mag.

Jas pozadí má v tomto případě hodnotu $L_b = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

Nejjasnější hvězdy mají $m_v = 0$ mag, a u ještě vyšších jasností přechází m_v do záporných hodnot (Sirius má $m_v = -1,4$ mag, Měsíc má $m_v = -12,6$ mag, Slunce má $m_v = -26,6$ mag). Snížení hvězdné velikosti o 1 mag znamená zvýšení jejího jasu 2,512 krát - viz vztah (2.7). Snížení hvězdné velikosti o 5 mag znamená zvýšení jejího jasu 100 krát.

Pozn.4: Parametry slunce jsou : jas $L = 1,6 \cdot 10^9 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, osvětlenost na zemském povrchu za jasného slunečního dne je $E = 1,2 \cdot 10^5 \text{ lx}$.

6.4 Posouzení jasových poměrů na noční obloze bez oblačnosti

Z citované literatury [25] vyplývá, že při velmi dobré viditelnosti hvězd jsou vidět prostým okem hvězdy o hvězdné velikosti $m_v = 6$ mag. Na viditelnost hvězd mají vliv tyto dva faktory.

Záření hvězd je obecně zeslabováno atmosférou, která se může v čase měnit.

Druhý faktor souvisí se zvyšováním závoje jas oblohy vlivem rozptylu světla přicházejícího do atmosféry ze Země. Obecně lze říci, že závoje jas je úměrný součinu extinkce a světelného toku jdoucího do horního poloprostoru. Zvyšování závoje jas vede ke zvyšování jasu pozadí a tím ke snižování kontrastu jasů dle následujících úvah.

Obecně platí pro kontrast jasů vztah

$$K = \frac{L_o - L_b}{L_b}, \quad (6.11)$$

| | | |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|
| kde K | je kontrast jasů | [-] |
| L_o | je jas pozorované hvězdy | [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] |
| L_b | je jas pozadí | [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] |

Na prahu vnímání lidského zraku jsou hvězdy, které mají hvězdnou velikost $m = 6$ mag. Jas těchto hvězd označíme symbolem L_{06} . Jelikož je viditelnost takových hvězd na prahu citlivosti bude jejich kontrast jasů minimální (prahový) a bude platit vztah

$$K = K_{\min} = \frac{L_{06} - L_b}{L_b}, \quad (6.12)$$

| | | |
|----------------|--|-------------------------------------|
| kde K_{\min} | je minimální (prahový) kontrast, kdy jsou hvězdy ještě vidět | [-] |
| L_{06} | je jas hvězdy o hvězdné velikosti $m = 6$ mag | [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] |

Zvýší-li se jas pozadí na hodnotu

$$L_v = a \cdot L_b, \quad (6.13)$$

kde L_v je zvýšený závojevý jas $[\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$

a je konstanta $[-]$

pro tento kontrast jasů bude platit vztah

$$K^* = \frac{L_{06} - L_v}{L_v} = \frac{L_{06} - a \cdot L_b}{a \cdot L_b}, \quad (6.14)$$

Jelikož se kontrast K^* zmenšil a platí $K^* < K_{\min}$, hvězda o hvězdné velikosti $m = 6$ mag a jasů L_{06} přestane být viditelná. Hvězda, která bude za těchto poměrů viditelná (na prahu citlivosti) musí mít takový jas, aby za těchto podmínek, kdy $K = K_{\min}$, platilo $L_{05} > L_{06}$. Bude platit vztah

$$K = \frac{L_{05} - a \cdot L_b}{a \cdot L_b} = K_{\min} = \frac{L_{06} - L_b}{L_b}, \quad (6.15)$$

Aby tento vztah platil, musí platit

$$L_{05} = a \cdot L_{06}, \quad (6.16)$$

Za předpokladu, že $\frac{L_{05}}{L_{06}} = \frac{I_5}{I_6}$ (poměry jasů hvězd a jimi vyvolanými hustotami světelného toku se rovnají),

můžeme dosadit tento závěr do vztahu (6.9) a dostaneme:

$$m_{v5} - m_{v6} = -2,5 \cdot \log\left(\frac{I_5}{I_6}\right) = -2,5 \cdot \log\left(\frac{L_{06}}{L_{05}}\right), \quad (6.17)$$

Změna hvězdné velikosti o $m_{v1} - m_{v2} = 1$ mag znamená, že poměr $\frac{L_{05}}{L_{06}} = 2,512$ viz vztah (6.8).

To platí pro $a = 2,512$.

Z toho vyplývá, že zvýší-li se jas pozadí 2,512 krát, sníží se viditelnost hvězd tak, že na prahu viditelnosti budou hvězdy o hvězdné velikosti $m_v = 5$ mag. V případě 100 krát většího jasů pozadí, což znamená, že $m_{v1} - m_{v2} = 5$ mag budou na prahu viditelnosti hvězdy o $m = 1$ mag.

Výzkumy [25] prokázaly, že průměrné celoroční extinkce z hlediska pohlcování záření atmosférou se v posledních letech nemění. Hlavním faktorem snižování jejich viditelnosti je zvyšování závojevého jasů oblohy vlivem světelného toku jdoucího do horního poloprostoru.

7. Fyzikální a astronomické metody zjišťování jasů noční oblohy

Astronomické metody a postupy, které se používají k měření jasů „pozadí“ noční oblohy, vycházejí z metod běžně používaných při tzv. fotometrických měřeních jasnosti astronomických objektů. Základy astronomické fotometrie jsou přehledně zpracovány například v Mikulášek (2000) [25], kde jsou také uvedeny definice zde užívaných veličin. Následující přehled zajisté není úplný, ale snaží se postihnout metody od těch nejjednodušších, jež nekladou prakticky žádné nároky na pozorovací techniku a jsou založeny jen na určitých znalostech a zkušenostech pozorovatele, až po metody vyžadující použití optických systémů se CCD kamerou.

7.1 Vizuální metody

Zřejmě nejjednodušší metodou je stanovení tzv. „mezní hvězdné velikosti“ (zkráceně „mhv“), kdy pozorovatel používá k „měření“ pouze svůj zrak (případně dalekohled). Postup lze popsat přibližně takto:

„Hvězdy, jejichž hvězdná velikost je k této hranici blízko, není vidět stále; někdy je lze zahlédnout, jindy ne. Nejčastěji se za mhv bere hvězdná velikost takových hvězd, které lze zahlédnout dvakrát během čtyř pokusů, z nichž každý trvá cca 5 sekund. Zahlédnout lze i hvězdy slabší (o pár decimagnitud), ale rozeznatelné jsou jen málokdy.

Při zjišťování mezní hvězdné velikosti v dané oblasti oblohy se využívá alespoň tří hvězd, které mají tu vlastnost, že je nelze zahlédnout pokaždé. K tomu je potřeba mít mapu, kde jsou uvedeny hvězdné velikosti alespoň některých takových hvězd, které jsou vhodně slabé, např. Gnómonický atlas Brno 2000.0 [15]. Za jasného počasí lze předpokládat, že v okolí zenitu je mezní hvězdná velikost všude stejná.

Jak je zřejmé, lze takto velmi přibližně určit „kvalitu“ dané pozorovací noci, ale je to postup velmi subjektivní, protože závisí mimo jiné i na kvalitě zraku pozorovatele. Navíc není určována přímo vlastní hodnota jasnosti oblohy, ale pouze jasnost nejslabšího viditelného objektu „hvězdného“ (tj. prakticky bodového) zdroje. Podrobné studie však souvislost mezi mhv a jasností noční oblohy prokázaly (např. Garstang 2000) [16]. Existují i další subjektivní metody. Jedna z nich obsahuje také subjektivní hodnocení viditelnosti „plošných“ astronomických objektů (podrobněji viz Bortle 2001) [17] a klasifikuje pozorovací podmínky podle viditelnosti určitých objektů do devíti tříd.

| | Popis viditelnosti jednotlivých objektů, které slouží ke klasifikaci |
|----------------|---|
| Třída 1 | Extrémně tmavá obloha, je možné vidět zodiakální světlo, galaxii M33 přímým pohledem bez dalekohledu, mhv je 7,6 až 8,0 mag, Jupiter nebo Venuše jsou natolik jasné, že citelně snižují adaptaci našeho zraku, pokud je naše pozorovací stanoviště na travnatém povrchu a je obklopeno stromy, máme |
| Třída 2 | Skutečně tmavá obloha, podél obzoru je však její zjasnění ihned patrné, galaxie M33 je stále zřetelná přímým viděním, letní část Mléčné dráhy má svou strukturu viditelnou i pouhým okem, zodiakální světlo je také patrné. Mraky jsou viditelné jen jako „tmavé díry“ na hvězdném pozadí. Na pozorovacím stanovišti se však dokážete orientovat, vidíte dalekohled i kolegy. Mnohé Messierovy kulové hvězdokupy jsou viditelné pouhým okem, mhv je 7,1 až 7,5 magnitud. |
| Třída 3 | Venkovská obloha, podél horizontu jsou znatelné projevy mírného rušivého světla. Mraky mohou být u obzoru slabě osvětleny, ale v zenitu jsou stále tmavé. Mléčná dráha se jeví spíše jako celek, kulové hvězdokupy jako M4, M5, M15 a M22 jsou zřetelně vidět bez dalekohledu. Galaxii M33 lze snadno spatřit bočním viděním. Zodiakální světlo je zřetelné na jaře a na podzim, jeho barva je nevýrazná. Na stanovišti vidíte předměty v okruhu asi deseti metrů, mhv je 6,6 až 7,0 magnitud. |
| Třída 4 | Přechod mezi venkovem a příměstskou oblastí, lze vidět zřetelně jasné oblasti nad městy a vesnicemi (v několika směrech). Zodiakální světlo je patrné, ale není tak „rozsáhlé“, Mléčná dráha je vysoko nad obzorem stále působivá, ale ztrácí svou strukturu, galaxie M33 je obtížným objektem i pro boční vidění a je vidět jen výše než 50 stupňů nad obzorem. Mraky jsou osvětleny je v místech nad světelnými zdroji, v zenitu jsou stále tmavé. Na stanovišti se už velmi dobře orientujete, mhv je 6,1 až 6,5 magnitud. |
| Třída 5 | Příměstská obloha, jsou vidět jen části zodiakálního světla na jaře a na podzim, Mléčná dráha je velmi slabá u horizontu a i v zenitu je „vybledlá“. Zdroje světla jsou zřetelné v mnoha směrech, mraky jsou zřetelně světlejší než zbytek hvězdné oblohy (i v zenitu), hodnota mhv je 5,6 až 6,0 magnitud. |
| Třída 6 | Světlá příměstská obloha, zodiakální světlo není pozorovatelné, Mléčná dráha je vidět pouze v zenitu, obloha má do 35 stupňů nad obzorem šedobílou barvu, mraky jsou jasné kdekoli na obloze, galaxie M33 je viditelná jedině triedrem, mhv má hodnotu 5,5 mag. |
| Třída 7 | Přechod mezi příměstskou a městskou oblohou, pozadí na celé obloze má šedobílou barvu, silné světelné zdroje jsou patrné ve všech směrech, Mléčná dráha není viditelná nebo je téměř neviditelná, M44 nebo M31 jsou viditelné bez dalekohledu velmi obtížně. Mraky jsou velmi jasné, Messierovy objekty jsou dalekohledu velmi „vybledlé“, mhv je jen asi 5,0 magnitud. |
| Třída 8 | Městská obloha, obloha svítí bělošedě nebo s nádechem do oranžova, bez potíží lze číst novinové titulky, M44 a M31 může zkušený pozorovatel zahlédnout jen v nocích s velmi dobrými podmínkami, jasné Messierovy objekty jsou viditelné středním dalekohledem, jsou neviditelné nebo jen obtížně pozorovatelné některé hvězdy z „obrazců“ typických pro mnohá souhvězdí, mhv je v nejlepším případě 4,5 magnitudy . |
| Třída 9 | Obloha městského centra, celá obloha jasně svítí, slabší souhvězdí (např. Rak nebo Ryby) nejsou vidět vůbec, nejsou viditelné některé hvězdy z „obrazců“ typických pro mnohá souhvězdí, snad kromě Plejád nelze spatřit žádný z Messierových objektů pouhým okem, dalekohledem lze dobře pozorovat snad jen Měsíc, planety a nejjasnější hvězdokupy, pokud je lze vůbec najít, mhv je asi 4,0 mag nebo ještě méně. |

Tab. 7.1 Klasifikace pozorovacích podmínek podle viditelnosti určitých objektů do devíti tříd [11]

Pro potřeby amatérských pozorovatelů hvězdné oblohy je taková klasifikace sice velmi praktická, ale neumožňuje stanovit jas noční oblohy v jednotkách SI. Tato metodika je také schopná zachytit pouze situace při bezoblačné obloze.

7.2 Fotografická metoda

Tuto metodu již lze zařadit mezi „objektivní“ a spočívá ve fotografování vybrané části hvězdné oblohy fotoaparátem na stativu na klasický film, po zpracování pak lze vhodným postupem určit přímo jasnost noční oblohy na daném pozorovacím stanovišti. Mezi hlavní výhody uvádějí Liebl a Schuler (2000) [18] celkovou technickou nenáročnost a schopnost velmi dobře postihnout charakter jasnosti oblohy na daném pozorovacím stanovišti. V práci je rovněž uveden postup při vyhodnocování snímků.

7.3 Měření fotoelektrickým fotometrem

Měření fotoelektrickým fotometrem jsou již poměrně vzácná, ale je možné využít i archivních fotometrických měření, postup je velmi dobře popsán v Hanžl (2004) [19]. Pokud používáme standardní fotometrické filtry, je vhodné jasnost noční oblohy určovat z měření s filtrem V_λ .

7.4 Měření CCD kamerou

Měření prováděná CCD kamerou mohou být prováděna speciálně jen kvůli stanovení jasnosti noční oblohy nebo je možné použít snímky pořízené za jiným účelem (primárním účelem je většinou pozorování proměnných hvězd nebo v případě standardních hvězdných polí je to určování atmosférické extinkce). Postup měření a vyhodnocení snímků popisuje Pejcha (2004) [19].

Abychom mohli zjistit hodnotu hvězdné velikosti nočního nebe, musíme získat snímek oblasti oblohy, ve které se nachází hvězdy, jejichž jasnost je přesně změřena. Expozice by měly být pořízeny opět přes standardní fotometrický filtr V_λ . Po odečtení „darkframu“ a započtení korekce „flatfieldu“ je možné provádět zpracování každého snímku např. programem C-Munipack [13].

7.5 Měření prováděná z oběžné dráhy

Taková měření jsou mimo možnosti astronomických institucí v ČR, nejnovější výsledky publikoval Cinzano (2006) [30]. Jak je zřejmé, je možné řadu astronomických metod měření jasů pozadí noční oblohy považovat za objektivní. Potíže nastávají při dlouhodobém měření, protože astronomické metody jsou použitelné pouze za určitých meteorologických podmínek, pokud je jasná obloha a nepřevládá oblačnost. V tomto popisu je také zcela opomenuta analýza mechanismů (přirozených či umělých), které jas pozadí noční oblohy zvyšují.

8. Světelně-technické metody zjišťování jasů noční oblohy

Pokud mají být měření dlouhodobá, je nutné hledat veličinu, která by měla také silnou vypovídací hodnotu vzhledem k velikosti rušivého světla. Takovou veličinou může být osvětlenost měřená velmi citlivým kalibrovaným luxmetrem. Velmi zajímavé pak mohou být nalezené vazby mezi naměřenými kvantitativními hodnotami osvětlenosti a meteorologickými prvky.

Na základě doposud provedených dlouhodobých měření byla provedena předběžná statistická analýza kontinuálního měření osvětlenosti v areálu VŠB-TU Ostrava (viz kapitola 9.2.)

8.1 Měření osvětleností vyvolaných jasnem noční oblohy

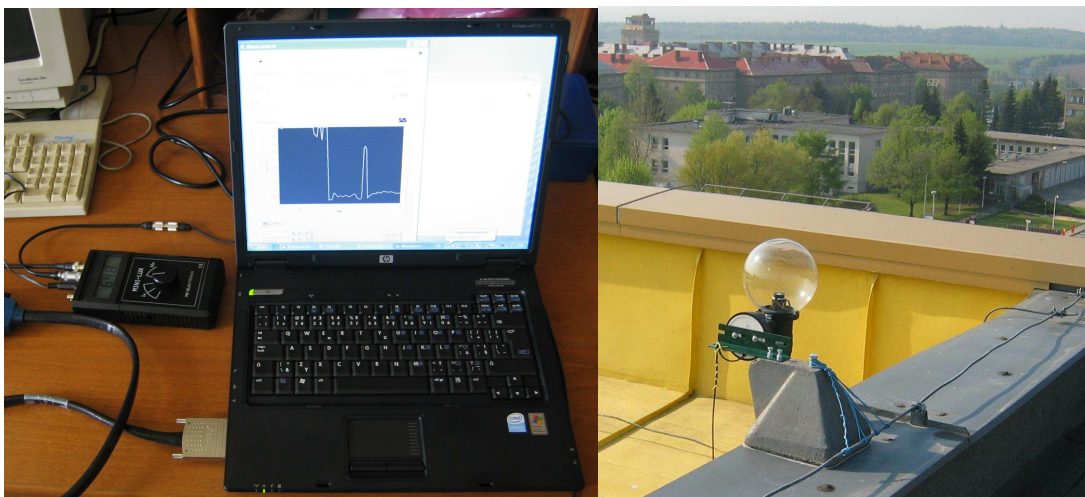
Hlavním cílem sledování nočních osvětleností je zjištění vlastností a změn v úrovni rušivého světla ve velkých aglomeracích a hledání jeho příčin. K tomu slouží vybudované zařízení, které umožňuje prakticky kontinuální měření světelného toku dopadajícího na měřicí stanoviště z horního poloprostoru v období nautické noci (doba, kdy je střed slunečního kotouče hlouběji než 12° pod obzorem). Kalibrovaný luxmetr je umístěn na pevném stanovišti (střecha knihovny VŠB-TU Ostrava) a je v provozu již několik let. Měření jsou prováděna každých 30 sekund. Technické parametry měřicí soupravy viz [11]. Přehled o oblačnosti jsou získávány z dat pro meteorologické stanice Mošnov a Ostrava-Poruba, jež poskytuje pobočka Českého hydrometeorologického ústavu v Ostravě-Porubě.

8.1.1. Měřicí soustava

K dlouhodobému měření osvětlenosti bylo využito luxmetru MINILUX. Spektrální citlivost měřicí soustavy je vztažena k $V(\lambda)$ funkci, tedy ke spektrální citlivosti lidského oka. Výstup měřených hodnot je vyveden do počítače, kde dochází ke zpracování a archivaci dat.

Naměřená data jsou zpracována v aplikaci vytvořené pomocí softwaru LabVIEW. Pro snímání a převod dat slouží 12-ti bitové 16-ti kanálové měřicí karty od firmy NATIONAL INSTRUMENTS. Tato kombinace umožňuje velkou variabilitu v rámci dlouhodobého měření dalších parametrů oblohy (nejen světelně-technických), ale také například v přidávání a řízení zdrojů rušivého světla.

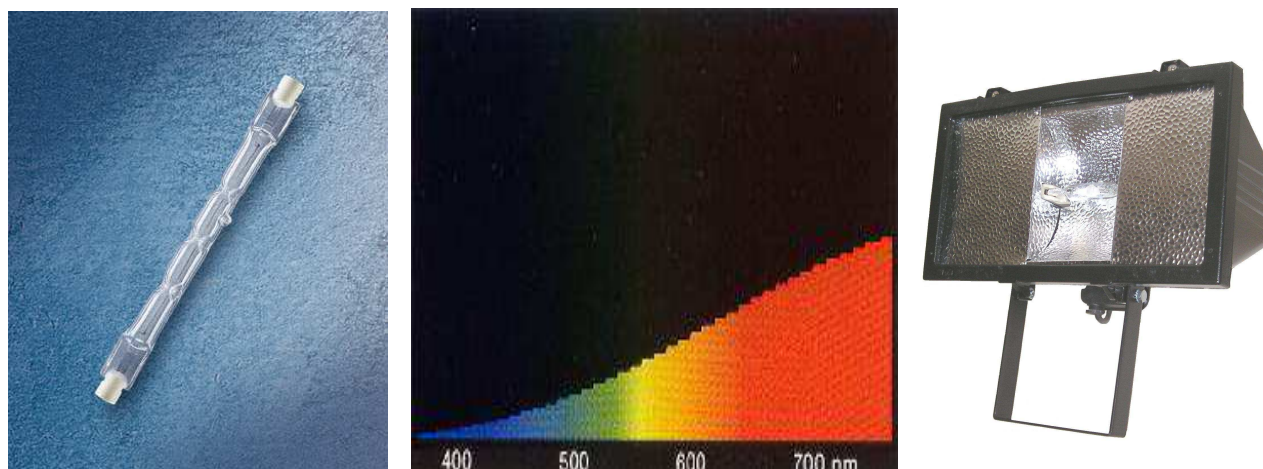
Měřicí soustava, která je umístěna na střeše budovy NK v areálu VŠB-TU Ostrava je znázorněna na Obr. 8.1.



Obr. 8.1: Měřicí aparatura pro dlouhodobá měření osvětlenosti pod noční oblohou

8.1.2. Použitý zdroj rušivého světla

Halogenová žárovka 1500 W; 10 A; $\Phi = 36$ klm, která je osazena ve svítidle XENON 1500 W s upraveným refraktorem z pískovaného skla, jenž zajišťuje vyzařování světelného toku jdoucího do horního poloprostoru, jehož hodnota je cca 23 klm a křivka svítivosti se blíží kosinové charakteristice.



Obr. 8.2: Halogenová žárovka, spektrum jejího vyzařování, svítidlo ve kterém je žárovka osazena

8.2 Přímé měření jasů noční oblohy jasovým analyzátozem

Měření jasů noční oblohy lze v jednotkách SI snímat pomocí citlivých jasových analyzátorů, které jsou díky kalibraci a softwarovému vybavení schopny vyhodnocovat jasy částí noční oblohy (dle použité optiky až celý horní poloprostor). Tyto přístroje využívají ke snímání dopadajícího záření upravené čipy digitálních fotoaparátů. K úpravě spektrální citlivosti na V_λ dochází pomocí softwarového vyvážení citlivostí jednotlivých barevných pixelů na čipu fotoaparátu. Nevýhodou takovýchto přístrojů je jejich relativně nízká citlivost (dlouhá doba expozice) a velká chyba V_λ .

8.2.1. Jasoměr LMK mobile advanced

Součástí je měřicí zařízení a software, sloužící k vyhodnocení měření.

Měřicí zařízení

K měření se využívá digitální jednooká zrcadlovka, která zaznamená reálnou scénu v digitální podobě na paměťové médium pomocí CMOS snímače.

Výrobce: Canon

Model: EOS 350D

Objektiv: Sigma 18-50 F2.8 EX DC

Programové vybavení

Ke zpracování naměřených snímků slouží software LMK 2000. Jako podklad k vyhodnocení jsou použita data ve formátu CR2, ve kterém je obraz zaznamenán ve formě RAW snímku, jenž obsahuje „surová data“, což znamená, že zaznamenaná informace je uložena v původní podobě, bez dodatečných korekcí, jak je tomu u jiných formátů (JPEG, BMP, apod.).

Při měření je možno využít celý rozsah a nastavit úroveň expozice např. na ± 2 , čímž se scéna zaznamená na tři samostatné snímky s úrovněmi -2.00 EV, 0.00 EV, +2.00 EV.

Z naměřeného snímku je vytvořen jasový kanál, ve kterém je uložena informace o hodnotě jasu pro daný makropixel. Makropixel obsahuje 4 pixely (R, G1, B, G2), ve kterých je uložena hodnota zaznamenaná CMOS snímačem fotoaparátu. Přizpůsobení relativní spektrální citlivosti systému k $V(\lambda)$ funkci je provedeno pomocí numerické matice. Informaci uloženou v jasovém kanále je dále možné zpracovávat a vyhodnocovat měřený objekt podle žádané metodiky či normy.

Využití měřicího zařízení

Ovládání měřicího zařízení je uživatelsky jednoduché a zařízení je vhodné využít např. pro praktické zjištění, zda navržené osvětlení odpovídá požadovaným hodnotám a normě. Využívá se k zjištění jasových parametrů veřejných komunikací, veřejného osvětlení, přechodů pro chodce, chodníků, tunelů, dále z hlediska hygieny pro zjištění kontrastů při umělém osvětlení v pracovních prostorech, školních učebnách apod. a v neposlední řadě také k určení rušivého světla.

8.2.2. Měřicí fotoaparát Nikon a program LumiDISP

Součástí je měřicí zařízení a software, sloužící k vyhodnocení měření.

Měřicí zařízení

K měření se využívá digitální fotoaparát jakéhokoliv výrobce, který zaznamená reálnou scénu v digitální podobě na paměťové médium pomocí CMOS snímače.

V tomto případě se využívá digitální fotoaparát:

Výrobce: Nikon

Model: COOLPIX 4500

Objektiv: rybí oko FC-E8 0.21x

Programové vybavení LumiDISP

LumiDISP je počítačový program pro analýzu jasových poměrů na základě vyhodnocení obrazových dat z digitální fotografie. Primárně má sloužit jako postprocessingový nástroj pro osvětlovací techniku zjednodušující měření a vyhodnocení jasu, resp. jasových poměrů. Jako podklad k vyhodnocení jsou použita data ve formátu JPEG, ve kterém je obraz zaznamenán ve formě ztrátové komprese snímku.

Z naměřeného snímku je vytvořen jasový kanál, ve kterém je uložena informace o hodnotě jasu pro daný makropixel. Makropixel obsahuje 3 pixely (R, G, B), ve kterých je uložena hodnota zaznamenaná CMOS snímačem fotoaparátu. Přizpůsobení relativní spektrální citlivosti systému je k $V(\lambda)$ funkci. Informaci o měřeném objektu uloženou v jasovém kanále je dále možné zpracovávat a vyhodnocovat podle žádané metodiky či normy. Pro výpočet jasu se zadává kalibrační funkce, která je pro každý typ fotoaparátu jiná. Kalibrační funkce musí být zjištěna v laboratoři.

Postup výpočtu

Výpočet ze zpracovaných snímků lze provádět podle tohoto návodu (Hroch 2005):

Jako příklad je vybráno měření hvězdy BL Lac v R filtru.

Po odečtení darkframů a korekci flatfieldem byla provedena fotometrie snímků a u hvězdy, která měla katalogovou jasnost

$R = 11.956$

Na řádku 101 v souboru bllac.MAT bylo zjištěno:

```
101 166.354 157.850 13.921 13.750 13.655 13.604 13.568 ...  
1562.277 30.12 0.00 0.006 0.006 0.008 0.009 0.012 ...
```

Byla vybrána clonka číslo 5, protože už je dostatečně velká na to, aby pohltila většinu signálu od této hvězdy. Poloměr clonky je asi 7 pixelů, zatímco fwhm je něco kolem 2.0 - 2.5 pixelů.

Celkovou přicházející intenzitu od hvězdy můžeme snadno spočítat podle Pogsonovy rovnice:

$$mag = 25 - 2.5 \cdot \log_{10}(I)$$

Intenzitu vypočteme jako

$$I = 10^{(0.4 \cdot (25 - mag))}$$

$$I_{\text{star}} = 10^{(0.4 \cdot (25 - 13.568))} = 37393 \text{ ADU}$$

Intenzita přicházející od oblohy dopadající na jeden pixel je uváděna jako první číslo v druhém řádku. Protože potřebujeme znát intenzitu na jednu úhlovou vteřinu, musíme znát převod z pixelu na vteřiny. Na observatoři AsÚ MU Brno platí:

$$1 \text{ pixel} = 2.0 \text{ arcsec} \dots\dots\dots (\text{tato hodnota je u každého použitého zařízení jiná!})$$

pak intenzita připadající na jednu úhlovou vteřinu je

$$B_{\text{sky}} = 1562.277 / (2 \cdot 2) = 389.154 \text{ ADU}$$

podíl intenzity od známé hvězdy a oblohy udává rozdíl v magnitudách oblohy a hvězdy:

$$m_{\text{sky}} - m_{\text{star}} = 2.5 \cdot \log_{10}(B_{\text{sky}} / I_{\text{star}}) = 5.0 \text{ mag},$$

ze které snadno vypočteme:

$$m_{\text{sky}} = R + (m_{\text{sky}} - m_{\text{star}}) = 11.956 + 5.0 = 16.9 \text{ mag / arcsec}^2$$

To je náš hlavní výsledek. Říká, že jasnost oblohy připadající na čtvereční úhlovou vteřinu je přibližně 17 mag.“

Využití měřicího zařízení

Ovládání měřicího zařízení je uživatelsky jednoduché a zařízení je vhodné využít např. pro praktické zjištění, zda navržené osvětlení odpovídá požadovaným hodnotám a normě. Využívá se k zjištění jasových parametrů veřejných komunikací, veřejného osvětlení, přechodů pro chodce, chodníků, tunelů, dále z hlediska hygieny pro zjištění kontrastů při umělém osvětlení v pracovních prostorech, školních učebnách apod. a v neposlední řadě také k určení rušivého světla.

8.2.3. Jasoměr Konica Minolta LS-100

Měřicí zařízení

Přístroj má tvar kamery s rukojetí. Spektrální citlivost měřicího zařízení je vztažena k $V(\lambda)$ funkci, tedy ke spektrální citlivosti lidského oka.

Měření je prováděno pomocí optiky, ve které znázorňuje měřenou oblast hledáček. Konstrukce optického systému zajišťuje, že nedojde k rušení mezi měřenou oblastí uvnitř hledáčku a okolní oblastí vně hledáčku. Pro bodové měření velmi malých oblastí je rozsah měřicího úhlu od $1/3^\circ$ do 1° . Pro velmi přesné měření mohou být nastaveny kalibrační funkce a korekce barev, vztažené k libovolnému jasu pro indikaci rozdílů pro specifické světelné zdroje.

Přístroj umožňuje nastavit okamžité měření jasu, měření poměru jasů nebo měření nejvyšší hodnoty jasu či nejvyššího poměru jasů. Měřené hodnoty mohou být přenášeny po datovém kanálu a zpracovány v počítači.

Parametry jasové kamery

- Úhel měřené oblasti 1°

| | |
|---|--|
| - Úhel záběru optiky | 9° |
| - Optický systém | 85mm f/2,8 |
| - Vzdálenost měření | min. 1014 mm až nekonečno |
| - Minimální měřená oblast | $\phi 14,4$ mm |
| - Měřicí rozsah | 0,001 až 299900 cd/m ² |
| - Přesnost pro 0,001 až 0,999 cd/m ² | +/- 2% +/- 2 číslice zobrazené hodnoty |
| - Přesnost pro 1,000 nebo vyšší | +/- 2% +/- 1 číslice zobrazené hodnoty |

Využití měřícího zařízení

Zařízení je možno využít k měření jasu LED diod, obrazovek a světelných zdrojů, dále pak k měření vozovek, tunelů, dopravního světelného značení (silniční, kolejové, letecké) apod. Dalším využitím je měření osvětlenosti venkovního značení, různých zařízení apod. Z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o bodové měření.

8.3 Přímé měření jasů noční oblohy CCD kamerou

Z důvodu eliminace výše zmíněných nevýhod probíhá realizace jasového analyzátoru pomocí vysoce citlivé (krátké doby expozic), chlazené (omezení tepelného šumu), černobílé (možnost optického přizpůsobení na V_{λ} , nebo $V_{\lambda'}^{\circ}$) astronomické CCD kamery doplněné speciálním software (LUMIDISP) pro převod naměřených hodnot přímo na jasy a následné vyhodnocování a statistické zpracování dat.

8.4 Měření jak přímých tak i odražených veličin noční oblohy pomocí Luxmetru MX-Elektronik MINILUX

Měřicí zařízení

Zařízení slouží k měření osvětlenosti, jasu a činitele odrazu. Spektrální citlivost měřícího zařízení je vztahena k $V(\lambda)$ funkci, tedy ke spektrální citlivosti lidského oka. Přístroj je vhodný i pro měření zdrojů napájených pulsním proudem o vysoké frekvenci. Jedná se například o xenonové výbojky.

Přístroj může být vybaven pevnou měřicí hlavicí obsahující senzor nebo propojením kabelem mezi senzorem a miniluxem pro měření na větší vzdálenost. Pro měření jasu je určen trubicový adaptér.

Rozsah měření osvětlenosti: 0,001 lx – 199,9 klx

- měření denní osvětlenosti do 200 klx
- měření interiérové osvětlenosti do 2 klx
- měření nízkých osvětleností do 20 lx
- měření nouzového osvětlení do 2 lx

Rozsah měření jasu: 0,1 cd/m² – 19,99 Mcd/m²

Vzhledem k možnému přetížení při překročení rozsahu je přístroj vybaven ochranou, která zabrání jeho poškození.

Využití měřícího zařízení

Přístroj je možno využít pro měření osvětlenosti a jasu od velmi nízkých hodnot (0,001 lx; 0,1 cd/m²) až po velmi vysoké hodnoty (200 klx; 20 Mcd/m²). Praktické využití je univerzální, od měření nouzového osvětlení přes měření komunikací až po denní osvětlenost. V našem případě slouží přístroj především k měření velmi nízkých osvětleností způsobených závojem jasnem noční oblohy.

8.5 Přímé měření „kvality oblohy“ pomocí Unihedron – Sky Quality Meter (SQM)

Měřící zařízení

Jedná se o malé přenosné zařízení, které volně přeloženo určuje „kvalitu oblohy“ z hlediska rušivého světla.

Zařízení má filtr, který umožní vyhodnocení pouze záření ve viditelném spektru. Filtr odstraní spektrum blízké infračervenému a tím potlačí teplotní vliv na měřící senzor. Měření se provádí zaměřením přístroje na zenit a trvá maximálně 60 sekund. Měří se kužel o vrcholovém úhlu 40°, tedy 20° od osy měření.

Měřená hodnota je zobrazena v mag/arcsec².

Přesnost měření je +/- 10% (+/- 0,1 mag/arcsec²). Změřená hodnota se dá převádět na jasy.

Převodní vztah mezi mag a jasnem je dán vztahem

$$L = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{-0,4 \cdot m}, \quad (8.1)$$

| | | | |
|-----|-----|--------------|-------------------------|
| kde | L | je jas | [cd · m ⁻²] |
| | m | je magnituda | [arcsec ²] |

Co se týká vlastního měření, je nutné upozornit na nutnost zabezpečení měřícího místa tak, aby na čidlo SQM nedopadala přímá složka osvětlení od umělých světelných zdrojů či světlo odražené od překážek (budovy, lesy). Čidlo přístroje musí být při měření zaměřeno na zenit a nesmí být ničím zastíněno.

9. Meteorologické modely

Astronomická měření lze akceptovat za jasné noční oblohy. Při těchto měřeních je podíl rušivého světla vyvolávajícího změny jasů noční oblohy dán vlastnostmi atmosféry a vlivem nečistot v ovzduší. Rušivé

světlo, které je tvořeno světelným tokem odrážejícím se zpět na zemský povrch je v tomto případě minimální, jeho složka se zvětší jen s narůstající oblačností.

9.1 Výpočet jasů oblohy v závislosti na přírodních podmínkách (astrofyzikálních) a na vyzařovaném světelném toku

Světelný tok orientovaný do horního poloprostoru se rozptyluje v atmosféře a zvyšuje její jas.

Jas oblohy zpětně vyvolává dopad světelného toku na zemský povrch. Doposud publikované metody pro výpočty těchto toků vycházejí z empirických vztahů. Exaktní řešení stanovení jasových poměrů na noční obloze vyvolané rušivým světlem, vyžaduje přístup, který zohlední rovněž spektrální vlastnosti světla a fyzikální zákonitosti jeho rozptylu v nehomogenním prostředí atmosféry.

Z tohoto důvodu byl odvozen nový model výpočtu osvětlenosti oblohy (Model of Spectral NightSky Radiance and Luminance MSNsRL) [29], který je založený na analytickém řešení rozptylu světla v atmosféře. Předpokládá se, že město na zemském povrchu, jako plošný zdroj, vyzařuje do prostoru definované množství energie. Známe je její spektrální rozložení a rozložení světelného toku. Po jeho rozptylu v atmosféře a v oblacích se světlo odráží k pozorovateli na zemském povrchu viz Obr. 9.1. Z důvodu urychlení výpočtů se navržený algoritmus modelu zjednodušil pro aplikaci bodových zdrojů světla, u kterých lze definovat vyzařování světelného toku.

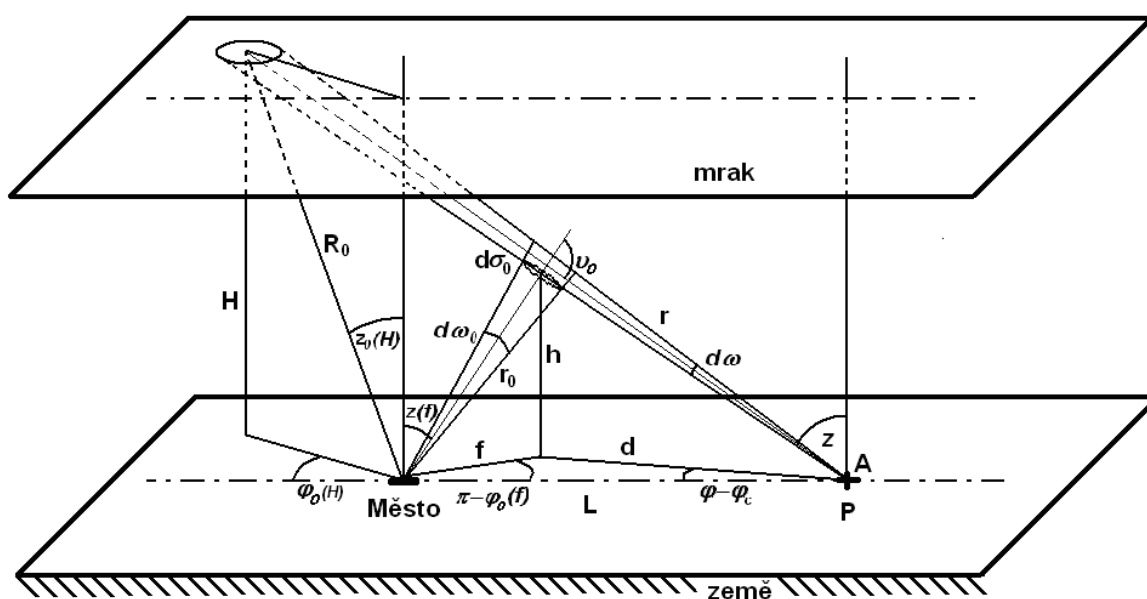
Výsledkem výpočtu je relativní rozložení zářivého toku nebo jasů na obloze viděné z místa pozorovatele a klasifikační parametr L_v/D_v (poměr hodnoty záře či jasů v zenitu ku difúzní ozáření či osvětlenosti). Aby se daly vyhodnocovat vypočítané údaje zářivého toku ve W/m^2 nebo jasů v cd/m^2 je potřebné získané relativní hodnoty zkalibrovat. Toho se může dosáhnout například z měření rozložení jasů na obloze a následně určením kalibrační konstanty.

V budoucnosti je možné model MSNsRL dořešit i pro aplikaci plošných zdrojů světla, které by přesněji reprezentovaly rozložení světelného toku vyzařovaného městem a reálněji zohlednily vliv plochy města na rozložení zářivého toku nebo jasů na obloze. Tento přístup by umožnil vypočítat přímo hodnoty zářivého toku ve W/m^2 nebo jasů v cd/m^2 .

Algoritmus modelu MSNsRL je založen na analytickém řešení fázových funkcí, které fyzikálně popisují princip rozptylu světla v každém elementárním objemu atmosféry [29].

Tento model je aplikovatelný pro podmínky jasné i zamračené oblohy a také pro denní i noční situace.

Schéma modelu pro jas noční oblohy je na následujícím obrázku.



Obr. 9.1: Schéma modelu pro jas noční oblohy. V případě bez oblačných podmínek $H \rightarrow \infty$.

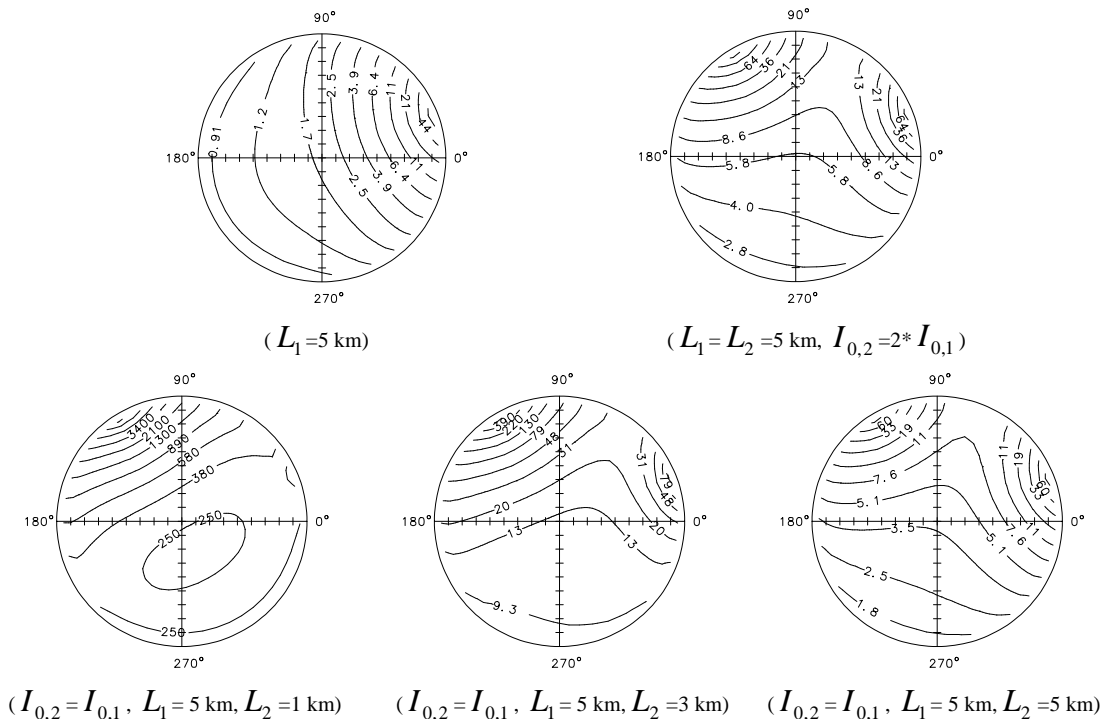
| | | |
|----------------|---|--|
| P | - | pozorovatel |
| A | - | plocha detektoru |
| d | - | délka přímky průmětu vzdálenosti plošky $d\sigma_0$ od pozorovatele na zem |
| f | - | velikost přímky r_0 při jejím průmětu na zem |
| h | - | výška, ve které dopadá záření na plošku $d\sigma_0$ |
| r | - | vzdálenost daného oblohového elementu od pozorovatele |
| H | - | výška spodní hranice oblaku |
| r_0 | - | vzdálenost od města, ve které záření dopadá na plošku $d\sigma_0$ |
| R_0 | - | vzdálenost daného oblohového elementu od města |
| L | - | vzdálenost pozorovatele a města |
| z | - | zenitový úhel pozorovaného oblohového elementu měřený z místa pozorování |
| $z(f)$ | - | zenitový úhel, pod kterým dopadá záření na plošku $d\sigma_0$ |
| $z_0(H)$ | - | zenitový úhel pozorovaného oblohového elementu měřený z města |
| φ | - | azimut daného elementu měřený z místa pozorování |
| φ_c | - | azimut zdroje světla měřený z místa pozorování |
| $\varphi_0(H)$ | - | azimut daného elementu měřený z města |
| $\varphi_0(f)$ | - | azimut plošku $d\sigma_0$ měřený z města |
| $d\omega$ | - | prostorový úhel pod kterým dopadá záření na detektor |
| $d\omega_0$ | - | prostorový úhel pod kterým je vidět plošku $d\sigma_0$ z města |
| $d\sigma_0$ | - | ploška dopadajícího záření |
| v_0 | - | úhel mezi r_0 a r |

Příklady výpočtu poměrných jasů oblohy jsou uvedeny na obr. 9.2.

Grafické výstupy uvedené na následujícím obrázku byly získané z následujících podmínek

$\varphi_{C,1} = 20^\circ$, $\varphi_{C,2} = 120^\circ$, $\tau_{\lambda=500nm,0}^{(A)} = 0,4$, $g_\lambda = 0,9$, $\tilde{\omega}_\lambda^{(A)} = 0,85$, $\beta = 0,125 \text{ km}^{-1}$, $\gamma = 0,65 \text{ km}^{-1}$,
 $Q = 0,15$, $q = 0,15$, $V_\lambda = 1,0$, $\lambda \in \langle 0,45, 0,75 \mu m \rangle$, $A = 1,0$, koeficient úměry 106.

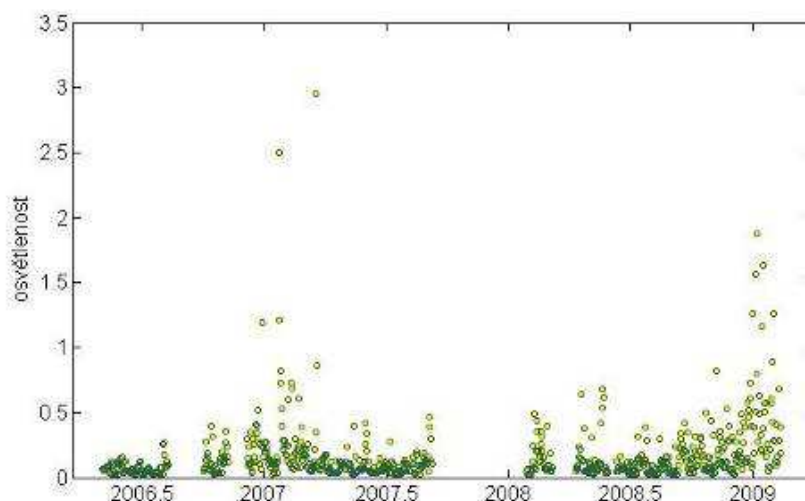
Model bezoblačné oblohy:



Obr.9.2: Příklady izolinií poměrných jasů oblohy dle výše uvedeného zadání

9.2 Deskriptivní statistika naměřeného souboru nočních osvětleností

V období, kdy měření probíhala, nedošlo v okolí měřicí soupravy k žádné výrazné změně světelného výkonu ani konfigurace osvětlovacích těles, takže je lze považovat za konstantní. Ke zmapování pozorovaných změn nočních osvětleností a signifikace různých předpokládaných vlivů na ní, bylo rozhodnuto nejprve prostudovat variace mediánu měřené osvětlenosti v průběhu 5 hodin od 21 h 30 min do 2h 30 min SEČ založených na 600 jednotlivých měření během noci. Tento výchozí soubor tak představuje 450 tisíc jednotlivých měření nočních osvětleností uskutečněných během 750 nocí v období od 5.5.2006 do 12.2.2009. Přehled středních osvětleností v jednotlivých nocích přináší Obr. 9.3 [8].



Obr. 9.3: Přehled středních osvětleností v měřených nocích [8]

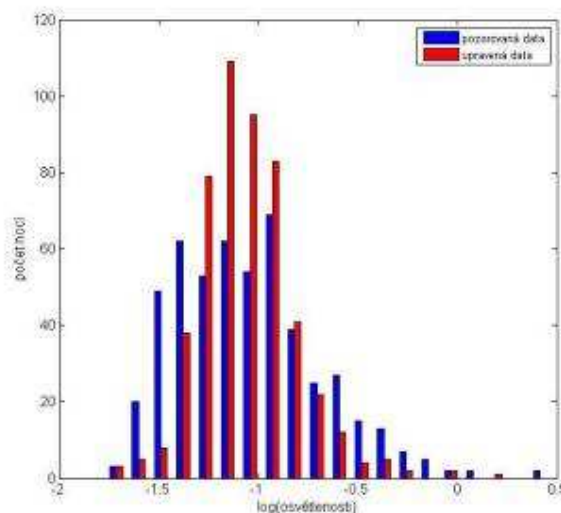
Ve smyslu našeho dělení nocí do pěti stejně obsazených skupin jsme našli následující empirické dělicí hodnoty: 0,043; 0,073; 0,116 a 0,215.

9.2.1. Příčiny změn osvětleností

Pro další analýzu byly dále použity pouze ty noci, pro něž byla současně měřena oblačnost na stanici Ostrava-Mošnov v intervalu od 22 do 2 hodin SEČ. Celkem tak byly získány dvojice údajů (medián noční osvětlenosti a průměrná hodnota oblačnosti) pro 509 nocí (to reprezentuje cca 300 tisíc jednotlivých měření osvětleností) dobře pokrývajících veškeré fáze Měsíce a jednotlivé měsíce v roce.

Nejvyšší střední noční osvětlenost byla zaznamenána v noci 20/21 3. 2008 – 2.956 lx, nejnižší pak 3/4 2. 2007 – 0.017 lx. Střední osvětlenosti se tak měnily v rozsahu 1: 174, tedy více než dvou řádů!

Aritmetický průměr takto vybraného souboru nočního osvětlení je 0,137 lx (viz modré sloupce na histogramu na Obr. 7.4) a medián jen 0,081 lx (viz červené sloupce na histogramu na Obr. 7.4). Histogram rozložení osvětleností je drasticky asymetrický, takže na takový soubor nelze aplikovat standardní statistické metody zpracování. To byl též důvod, proč bylo rozhodnuto v další analýze pracovat s dekadickým logaritmem osvětleností E (viz histogram na Obr. 9.4).



Obr. 9.4: Histogram rozložení osvětleností s logaritmickou osou x

I když je histogram asymetrický, jde o únosnou asymetrii (medián a průměr logaritmu noční osvětlenosti jsou postupně -1,09 a -1,05), kterou lze případně zvládnout např. použitím robustní regrese. Malá špičatost souboru nepochybně souvisí s tím, že pozorovaný rozptyl hodnot kolem mediánu nebude dán pozorovacími chybami, které jsou mimochodem zanedbatelné vzhledem vlastní hodnotě veličiny E , ale vlivy, které lze popsat pomocí modelu.

9.2.2. Meteorologické prvky, nutná zjednodušení, hledání závislosti mezi naměřenými veličinami

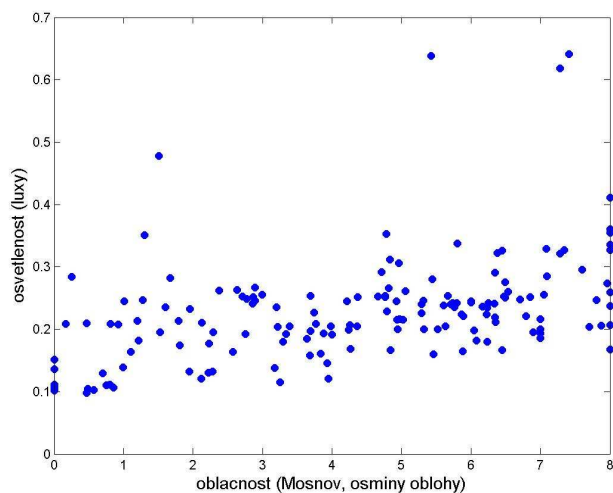
Na začátku a konci měření v průběhu noci je patrný vliv osvětlení způsobeného rozptylem slunečního světla v horních partiích zemské atmosféry, nicméně během nautické noci je již možné tento vliv zcela zanedbat. Třebaže světelný tok okolních osvětlovacích soustav je dlouhodobě víceméně konstantní, pozorujeme v osvětlenostech jednotlivých nocí zjevné rozdíly, které jsou dány dalšími přírodními či umělými vlivy. Především se zde projevuje příspěvek měsíčního světla, jehož množství je v dané chvíli dáno aktuální fází a polohou Měsíce na obloze, dále pak aktuálním stavem atmosféry. Ten je popisován celou řadou tzv. meteorologických prvků, z nichž bylo jako nejdůležitější vytipováno procento oblačnosti.

V budoucnosti, kdy bude k dispozici dostatečně velké množství pozorovacího materiálu z několika stanic v různých podmínkách, je zamýšleno prozkoumat i závislost aktuálního rušivého světla na množství srážek, vlhkosti, teplotě a obsahu prachových částic. Ty hrají rozhodující roli při rozptylu světla v případě bezoblačných nocí.

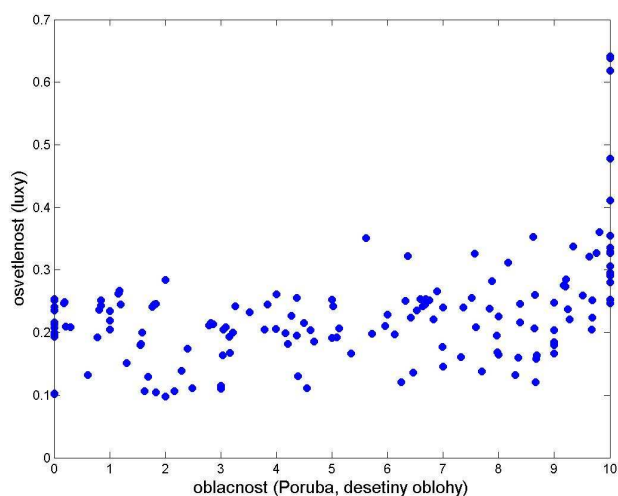
Z umělých vlivů pak mohla být měření krátkodobě ovlivněna leteckým provozem nebo světly majáků vozidel záchranné služby. Tyto vlivy lze snadno eliminovat zavedením robustních metod výpočtu reprezentativního průměru osvětlenosti v dané noci (použití robustní regrese či tzv. ořezaného průměru).

Částečný přehled o oblačnosti byl získán z dat meteorologických stanic Mošnov a Ostrava-Poruba, jež poskytla pobočka Českého hydrometeorologického ústavu v Ostravě-Porubě. Z dodaných hodnot byl vypočítán reprezentativní průměr. Pokrytí oblohy mraky je na stanici Mošnov udáváno v osminách, na stanici Ostrava-Poruba pak v desetínách celkové plochy oblohy.

Následující diagramy ukazují závislosti osvětleností na množství oblačnosti pro obě tyto stanice.

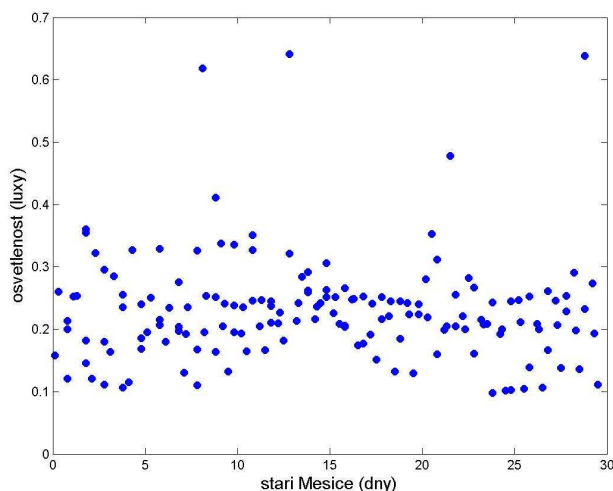


Obr. 9.5: Závislost osvětleností na množství oblačnosti - Mošnov



Obr. 9.6: Závislost osvětleností na množství oblačnosti – Ostrava - Poruba

Z grafů je patrné, že naměřená osvětlenost závisí dle očekávání na množství oblačnosti, a to tak, že čím vyšší je procento pokrytí oblohy oblačností, tím vyšší je úroveň rušivého světla v důsledku rozptylu světla na spodní vrstvě mraků. Rozptyl není dán nejistotou určení vlastního průměru měření – ta je několikanásobně menší – ale je způsoben dalšími meteorologickými okolnostmi, jako srážkami, mlhou či vysokou vlhkostí.



Obr. 9.7: Závislost osvětleností na stáří Měsíce

V grafu závislosti naměřené osvětlenosti a aktuálního stáří Měsíce sice není na první pohled patrný žádný zřetelný trend, což ovšem nepřekvapuje, protože tu nebyl odečten vliv oblačnosti. Navíc je třeba uvážit, že příspěvek měsíčního světla se během konkrétní noci výrazně mění. Sestavením adekvátního modelu a použitím sofistikovanějších způsobů zpracování (např. použití komponentové analýzy a víceparametrické robustní regrese) se vliv Měsíce jistě podaří prokázat.

9.2.3. Formulace a aplikace lineárního modelu

Pro popis vlastností měřeného souboru byla vyzkoušena řada modelů různého stupně složitosti. Jako nejlepší a současně nejjednodušší model byl nakonec zvolen lineární model popisující vliv oblačnosti C v intervalu 0 až 1, fáze Měsíce v jednotkách synodické periody f a ročního období a v jednotkách tropického roku, v následující formě [8]:

$$E \equiv A_0 + A_1 C^q + A_2 \left[\frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos(2\pi f) + \frac{1}{8} \cos(4\pi f) \right] + \frac{1}{2} A_3 \sin(2\pi a) + \frac{1}{2} A_4 \cos(2\pi a) \quad (9.1)$$

Model je popsán celkem 6 parametry, které lze vypočítat lineární regrese nebo ještě lépe metodou robustní regrese (viz např. Mikulášek [25]), která eliminuje odlehlé body zjevně se vymykající zvolenému modelu.

Závislost na meteorologických prvcích zhruba popisuje také tato tabulka:

Tab. 9.1: Pětídílná relativní stupnice rušivého světla noční oblohy

| Index rušivého světla | kvantitativní vyjádření | předběžný popis situace |
|-----------------------|--|-------------------------------|
| 1 (nejtmavší noc) | osv. < 1. kvintil osv. | jasno, oblačnost do 4/8 |
| 2 | 1. kvintil osv. < osv. < 2. kvintil osv. | oblačnost 4/8 až 8/8 |
| 3 | 2. kvintil osv. < osv. < 3. kvintil osv. | zataženo, mlha, srážky |
| 4 | 3. kvintil osv. < osv. < 4. kvintil osv. | zasněžený terén, zataženo |
| 5 (nejsvětlejší noc) | osv. > 4. kvintil osv. | zasněžený terén, mlha, srážky |

Tato relativní stupnice může být použitelná i ke sdělení v rámci mediální tzv. předpovědi počasí, protože umožňuje z předpovídané oblačnosti a srážek (případně dalších meteorologických jevů) předpovědět také to, jak „tmavé“ budou následující noci. To může být informace cenná nejen pro obdivovatele krás nočního nebe, ale v případě vysoké oblačnosti, také pro osoby citlivé na množství rušivého světla při spánku.

Měření osvětlenosti během nautické noci dávají velmi dobrou kvantifikaci stupně rušivého světla. Zjednodušené vyjádření indexu rušivého světla může být součástí pravidelných rozsáhlejších předpovědí počasí. Doporučujeme užít pětídílnou stupnici od nejtmavších nocí (1) přes typické noci (3) až po nejsvětlejší noci (5), kde hranice mezi jednotlivými stupni budou kvintily celoročního rozdělení nočních průměrů osvětlenosti.

Ke zjištění numerického vztahu mezi napozorovanou hodnotou osvětlenosti změřenou v dané stanici a indexem rušivého světla je zapotřebí mít k dispozici měření osvětlenosti v průběhu celého roku. K předpovědi indexu na základě meteorologické situace a fáze Měsíce je zapotřebí zjištění stupně korelace dotčených parametrů, vytvoření alespoň empirického modelu a nepřetržitě řady měření za nejrozumnějších kombinací jevů, jež mají pro stupeň rušivého světla měřitelný vliv.

10. Světlo vyzářené do horního poloprostoru

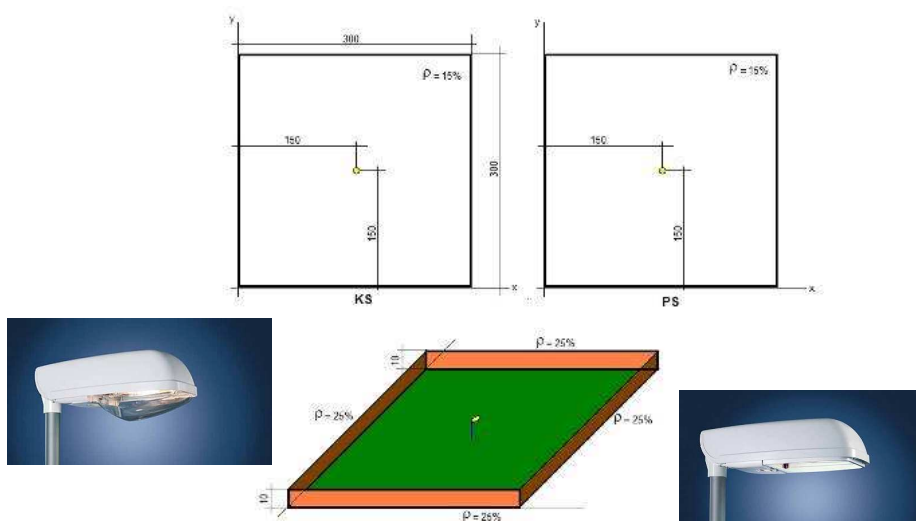
10.1 Výpočet světelného toku vyzářeného na oblohu

Světelný tok vyzářený do horního poloprostoru se skládá z přímého a odraženého světelného toku. Většina svítidel je vybavena krytem, který může být vypuklý a nebo plochý. Zde je řešena problematika použití svítidel uzavřených plochými skly. Srovnává se se svítidly s „klasickou“ mísou, která mají vyšší účinnost a větší vyzářovací úhel. V důsledku toho jsou svítidla s plochým sklem investičně i provozně o 5 ÷ 35 % dražší a dokonce mohou mít i větší rušivé účinky.

10.1.1. Vlastnosti svítidel s plochým sklem

Svítidla uzavřená s plochým sklem mají nižší účinnost než svítidla s vypouklou mísou. Pro vyšší úhly jsou ztráty světla prostupem větší, takže svítivost v těchto směrech bude nižší. To znamená, že se svítidla s plochým sklem budou muset umísťovat v menších roztečích než svítidla „klasická“ a také v nižších výškách nad komunikací. Jiným řešením je zvýšení příkonu svítidla. V důsledku se mohou taková svítidla chovat k nočnímu prostředí méně ohleduplně než svítidla, která část světelného toku vyzařují do horního poloprostoru.

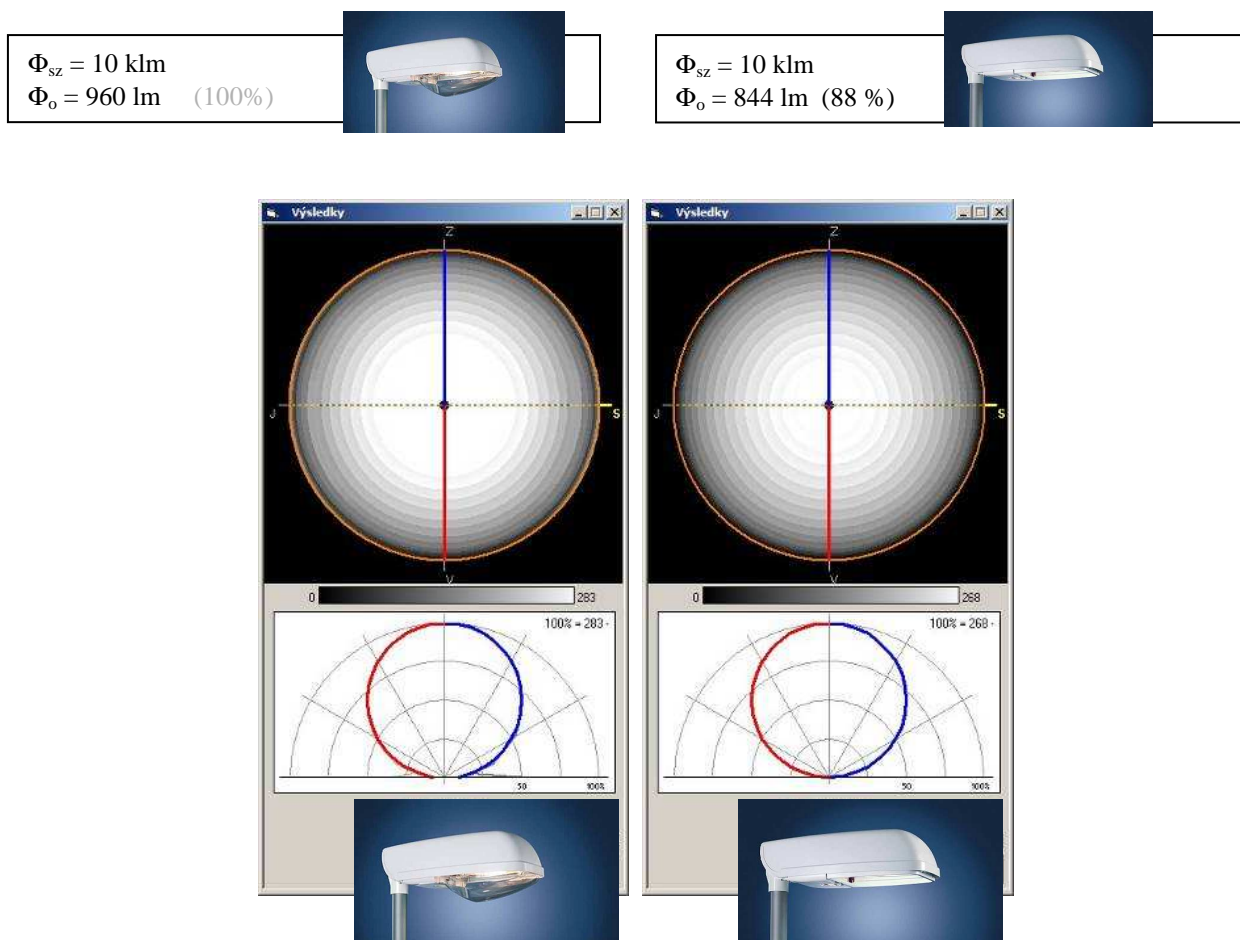
10.1.2. Základní uspořádání pro modelování světelného toku jdoucího do horního poloprostoru



Obr.10.1: Model svítidla VO umístěného na volném prostranství

Zde je uvedeno porovnání vyzařování světelného toku do horního poloprostoru. Světelný tok jdoucí do horního poloprostoru je pouze cca 10% světelného toku světelného zdroje. Dalším důležitým závěrem je informace o tom, že srovnatelné svítidlo s plochým sklem emituje do horního poloprostoru pouze o 12% méně světelného toku než svítidlo klasické [8].

Volný prostor - srovnání vypuklého a plochého skla



Obr.10.2: Křivky svítivosti vyzařované do horního poloprostoru ze svítidel VO

10.2 Model vzorové křivky svítivosti

Aby bylo možné stanovit vlastnosti prostoru (ať krajiny nebo městské zástavby), vždy je nutné vycházet z fotometrických vlastností zdroje světla, tedy v první řadě svítidel veřejného (venkovního) osvětlení.

Stanovit vyzařovací charakteristiky svítidla je poměrně jednoduché v případě, že známe typ svítidla. Pak je obvykle možné získat fotometrické vlastnosti svítidla u výrobce nebo dodavatele. Stanovit geometrii osvětlovací soustavy také není obtížné. Z map nebo jednoduchého zaměření.

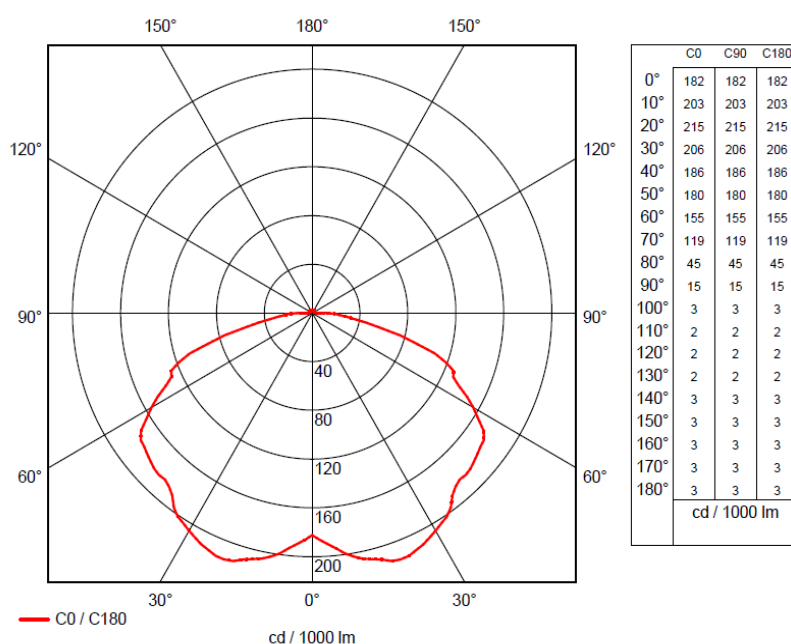
Obtížnější situace nastává v případě, že nejsou známe typy svítidel. Může jít o svítidla, která mají neznámý původ, byla vyrobena na zakázku nebo byla nějakým způsobem upravena. Řadí se sem také svítidla staršího data.

Zde je nutné provést odborný odhad. Na základě prohlídky usoudit jaké má svítidlo vlastnosti, odhadnout jakému svítidlu se blíží. Významně pomůže prohlídka v nočních hodinách, kdy je zřejmé jak, a kam svítidlo svítí.

V případě rozsáhlejších oblastí je možné použít „průměrné“ svítidlo. V Tab. 10.1 byl proveden odborný odhad procentního zastoupení jednotlivých typů svítidel vyskytujících se ve VO v ČR.

Tab. 10.1: Tabulka hodnot pro vzorovou křivku svítivosti

| Typ svítidla | Procentní zastoupení | Výrobce |
|------------------------------|----------------------|-------------|
| plochá skla | 10 % | Siteco |
| kvalitní klasika | 35 % | Schreder |
| koule (i nahoru) | 5 % | Elektrosvit |
| sadovky (rotačně symetrické) | 30 % | Elektrosvit |
| Elektrosvit | 20 % | Elektrosvit |



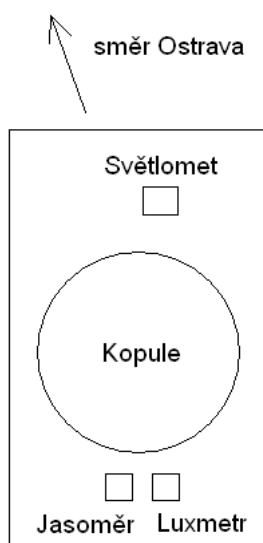
Obr. 10.3: Vzorová křivka svítivosti

Velmi důležité je zjištění, že současné (průměrné) osvětlovací soustavy veřejného osvětlení vyzařují primárně (neodražený světelný tok) pouze mírně přes 2% celkového světelného toku jdoucího ze svítidel do horního poloprostoru.

11. Experimenty pro ověření teoretických předpokladů

11.1 Měření jasových poměrů od oblohy na hvězdárně a planetáriu Johanna Palisy v Ostravě

11.1.1. Měření jasů a osvětleností od oblohy



Obr.11.1: Situační schéma měření

Datum měření: 12.4.2006

Meteorologická situace: Zataženo, obloha se slabým oparem.

Tab. 11.1 Naměřená data ze dne 12.4.2006

| | | | | | | |
|---------|--------------------------------------|-------------|--------|----------------------|--------|----------------------|
| Teplota | 7°C | | | | | |
| Čas | Druh ovlivnění | Osvětlenost | | Jas | | Natočení jasoměru |
| [hod] | - | [lx] | [%] | [cd/m ²] | [%] | [°] |
| 21:00 | Halogenová žárovka 1500W | 0,053 | 117,78 | 0,042 | 420,00 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,045 | 100,00 | 0,010 | 100,00 | 90 |
| 21:55 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | 0,054 | 122,73 | 0,017 | 130,77 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,044 | 100,00 | 0,013 | 100,00 | 90 |
| 21:30 | Halogenidová výbojka 1000W + difuzor | 0,071 | 215,15 | 0,017 | 170,00 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,033 | 100,00 | 0,010 | 100,00 | 90 |
| 21:50 | Sodíková výbojka 600W + difuzor | 0,083 | 193,02 | 0,017 | 130,77 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,043 | 100,00 | 0,013 | 100,00 | 90 |
| 22:00 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,042 | 107,69 | 30 směrem k Ostravě |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,039 | 100,00 | 30 směrem k Ostravě |
| 22:05 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,013 | 100,00 | 30 směrem od Ostravy |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,013 | 100,00 | 30 směrem od Ostravy |

Toto měření bylo pouze orientační, pro odzkoušení přístrojů a za účelem zjištění, zda-li lze z naměřených hodnot něco usuzovat. Navíc byla obloha částečně zatažená se slabým oparem. Měření taktéž silně ovlivňoval svit Měsíce.

Při prvním měření, kdy svítila halogenová žárovka 1500W bez difuzoru, jsou naměřené hodnoty silně ovlivněny světlometem, u dalších měření byl jasoměr i luxmetr umístěn na opačnou stranu kopule hvězdárny.

Datum měření: 3.5.2006

Meteorologická situace: Obloha s proměnlivou oblačností.

Tab. 11.2 Naměřená data ze dne 3.5.2006

| Teplota | 8°C | | | | | |
|---------|--------------------------------------|-------------|--------|----------------------|--------|----------------------|
| Čas | Druh ovlivnění | Osvětlenost | | Jas | | Natočení jasoměru |
| [hod] | - | [lx] | [%] | [cd/m ²] | [%] | [°] |
| 22:45 | Sodíková výbojka 600W + difuzor | 0,093 | 206,67 | 0,020 | 153,85 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,045 | 100,00 | 0,013 | 100,00 | 90 |
| 23:00 | Halogenidová výbojka 1000W + difuzor | 0,075 | 234,38 | 0,025 | 125,00 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,032 | 100,00 | 0,020 | 100,00 | 90 |
| 23:08 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | 0,036 | 150,00 | 0,011 | 122,22 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,024 | 100,00 | 0,009 | 100,00 | 90 |
| 23:16 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,015 | 115,38 | 30 směrem k Ostravě |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,013 | 100,00 | 30 směrem k Ostravě |
| 22:05 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,007 | 116,67 | 30 směrem od Ostravy |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,006 | 100,00 | 30 směrem od Ostravy |

Naměřené jasy oblohy směrem k Ostravě byly zhruba o 100% větší, než hodnoty naměřené od Ostravy - nejen při rozsvícených, ale také při zhasnutých světlometech.

Ve srovnání s minulým měřením z 12.4.2006, kdy byla obloha jen se slabým oparem, měla tentokrát obloha proměnlivou oblačnost. Naměřené osvětlenosti a jasy oblohy jsou z tohoto důvodu ovlivněny nejen větší odraženou složkou od oblačnosti, ale také odraženou složkou od vegetace kolem hvězdárny, která má vliv hlavně na osvětlenost.

Datum měření: 10.5.2006

Meteorologická situace: Obloha s proměnlivou oblačností.

Tab. 11.3 Naměřená data ze dne 10.5.2006

| Teplota | 10°C | | | | | |
|---------|--------------------------------------|-------------|--------|----------------------|--------|----------------------|
| Čas | Druh ovlivnění | Osvětlenost | | Jas | | Natočení jasoměru |
| [hod] | - | [lx] | [%] | [cd/m ²] | [%] | [°] |
| 22:30 | Halogenidová výbojka 1000W + difuzor | 0,122 | 187,69 | 0,013 | 185,71 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,065 | 100,00 | 0,007 | 100,00 | 90 |
| 22:55 | Sodíková výbojka 600W + difuzor | 0,137 | 139,80 | 0,017 | 188,89 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,098 | 100,00 | 0,009 | 100,00 | 90 |
| 23:06 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | 0,115 | 176,92 | 0,033 | 103,13 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,065 | 100,00 | 0,032 | 100,00 | 90 |
| 23:15 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,012 | 133,33 | 30 směrem k Ostravě |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,009 | 100,00 | 30 směrem k Ostravě |
| 23:22 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,020 | 90,91 | 30 směrem od Ostravy |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,022 | 100,00 | 30 směrem od Ostravy |

Hodnoty jasů při měření směrem od Ostravy byly opět větší zhruba o 100 % (z důvodu velké oblačnosti), než hodnoty naměřené směrem k Ostravě (kde byla obloha bez oblačnosti).

Měření s halogenidovou výbojkou ještě nebylo ovlivněno tak velkou oblačností, jako další měření se sodíkovou výbojkou i s halogenovou žárovkou.

Datum měření: 31.5.2006

Meteorologická situace: Obloha s proměnlivou oblačností.

Tab. 11.4 Naměřená data ze dne 31.5.2006

| Teplota | 12°C | | | | | |
|---------|--------------------------------------|-------------|--------|----------------------|--------|----------------------|
| Čas | Druh ovlivnění | Osvětlenost | | Jas | | Natočení jasoměru |
| [hod] | - | [lx] | [%] | [cd/m ²] | [%] | [°] |
| 23:05 | Sodíková výbojka 600W + difuzor | 0,055 | 196,43 | 0,013 | 162,50 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,028 | 100,00 | 0,008 | 100,00 | 90 |
| 23:15 | Halogenidová výbojka 1000W + difuzor | 0,076 | 200,00 | 0,018 | 120,00 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,038 | 100,00 | 0,015 | 100,00 | 90 |
| 23:25 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | 0,057 | 129,55 | 0,026 | 113,04 | 90 |
| | Bez ovlivnění | 0,044 | 100,00 | 0,023 | 100,00 | 90 |
| 23:30 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,061 | 105,17 | 30 směrem k Ostravě |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,058 | 100,00 | 30 směrem k Ostravě |
| 23:32 | Halogenová žárovka 1500W + difuzor | - | - | 0,011 | 122,22 | 30 směrem od Ostravy |
| | Bez ovlivnění | - | - | 0,009 | 100,00 | 30 směrem od Ostravy |

Vyhodnocení

Měření si kladla za cíl získat informace o tom, jakým způsobem se mění osvětlenosti při změně typu oblohy a při ovlivňování různými typy rušivého světla. Výsledky byly pozitivní, tzn., že hodnoty osvětleností pod noční oblohou se mění a stejně tak i souvislosti s rušením oblohy různými typy světelných zdrojů (spekter vyzařování).

Dále si toto měření kladlo za cíl získat údaje o měnících se závojevých jasech oblohy, směrem k průmyslové aglomeraci a směrem od ní za různých meteorologických podmínek. Na základě naměřených hodnot můžeme konstatovat, že předpoklady o výrazném zvýšení závojevého jasu oblohy směrem k průmyslové aglomeraci se potvrdily.

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.1.

11.2 Měření u hotelu Dlouhé Stráně v Koutech nad Desnou dne 24.7.2006

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.2.

Vyhodnocení

Měření u hotelu Dlouhé Stráně v Koutech nad Desnou v podhůří masivu Hrubý Jeseník bylo provedeno z důvodu získání hodnot jasů noční oblohy a nočních osvětleností v oblasti ovlivněné rušivým světlem (hotel). Toto měření se nám podařilo vykonat za jasné, bezměsíčné noci.

11.3 Měření na horní nádrži Přecherčpávací elektrárny Dlouhé Stráně dne 25. a 26.7.2006

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.3.

Vyhodnocení

Měření na horní nádrži Přecherčpávací elektrárny Dlouhé Stráně v oblasti horského masivu Hrubý Jeseník bylo provedeno z důvodu získání hodnot jasů noční oblohy a nočních osvětleností v oblasti ČR minimálně ovlivněné rušivým světlem. Toto měření se nám podařilo vykonat za jasné, bezměsíčné noci, tzn. že bylo dosaženo nejlepších rozptylových podmínek a nejmenšího ovlivnění rušivým světlem, ať už z přírodních zdrojů, či ze zdrojů umělých.

Naměřené hodnoty osvětleností se pohybovaly na hranici možností použité techniky mezi 0,001 lx - 0,002 lx, což je ještě o jeden řád méně než hodnoty v oblasti Ostravska. Na velikost jasu nemá vliv ani zenitní úhel, pod kterým byla snímána obloha fotoaparátem Rollei LMK mobile firmy Techno Team, s hodnotami jasů 0,003 - 0,005 cd · m⁻².

Domníváme se, že tyto hodnoty můžeme zatím považovat za minimální dosažitelné v ČR

11.4 Měření na Slovenské akademii věd v Bratislavě - 29.5. 2008:

Měření proběhlo na budově v areálu SAV v Bratislavě. Jasový analyzátor byl nasměřován směrem na jihovýchod, aby bylo možno zachytit dva největší rušivé zdroje osvětlení noční oblohy zároveň v jedné křivce, a to obchodní středisko Tesco a centrum Bratislavy. Aby bylo možno tyto jasy zachytit, byla osa měření posunuta od východního směru zhruba o 30° . Jasoměr Minolta byl zorientován podle světových stran a bodově zachytil jasy celého horního poloprostoru.

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.4.

Vyhodnocení

Měření bylo provedeno od 5° nad obzorem z obou stran. Na jihovýchodní straně, kde bylo hlavním zdrojem rušivého světla centrum Bratislavy, byla naměřena nejvyšší hodnota jasu $0,11 \text{ cd/m}^2$ a na opačné straně $0,04 \text{ cd/m}^2$, kde byl nejvýraznější zdroj obchodní středisko Tesco, které bylo odkloněno zhruba o 30° od měřicí osy směrem k severu. Rozdíl těchto dvou hodnot je $0,07 \text{ cd/m}^2$. Hodnoty odečtené z jasové kamery Minolta jsou pro směr Zentiva (směr centrum) $0,11 \text{ cd/m}^2$ a směrem k Tescu $0,18 \text{ cd/m}^2$ v pěti stupních nad horizontem. Oba přístroje v zenitu naměřili $0,01 \text{ cd/m}^2$. Maximální naměřený jas oblohy nad centrem Bratislavy byl přímo nad horizontem a pohyboval se okolo $0,2 \text{ cd/m}^2$.

11.5 Měření v astronomickém ústavu ve Staré Lesné - 25. a 26.8. 2008:

Měření proběhlo 25.8. a 26.8. 2008. V tomto případě bylo město Poprad největším zdrojem jasů. Dalším výrazným zdrojem bylo město Svit.

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.5.

Vyhodnocení

Měření ve Staré Lesné bylo zvoleno z důvodu umístění této lokality. Předpokládali jsme, že tato lokalita společně s observatoří na Skalnatém plese patří k nejméně ovlivněným místům, z hlediska rušivého světla, v rámci ČR i SR.

Město Poprad, jež bylo největším zdrojem rušivého světla, leží 150° od severního směru. Hodnota jasu je podle odečtených hodnot $0,043 \text{ cd/m}^2$ v 0° nad horizontem a $0,021 \text{ cd/m}^2$ ve 30° nad obzorem a jde vidět, že největší jasy se pohybují okolo $0,1$ až $0,2 \text{ cd/m}^2$ v cca 10° nad horizontem nad Popradem, což odpovídá

nízké oblačnosti. Na jihozápadní straně bylo výrazným zdrojem rušivého osvětlení město Svit, kde se hodnoty pohybovaly okolo $0,03 \text{ cd/m}^2$. Rušivé jasy nad městy byly výrazně vyšší do 30° nad obzorem, pak už byl jas rovnoměrný a pohyboval se okolo $0,006 \text{ cd/m}^2$, což také odpovídá hodnotě jasu v zenitu. To znamená, že jas oblohy od 30° nad horizontem nebyl pro tuto situaci výrazně ovlivňován rušivým světlem.

11.6 Měření v observatoři ve Skalném Plese-27.8. 2008:

Z měřicího stanoviště ve Skalnatém plese je zachyceno jako největší zdroj rušivých jasů na obloze město Poprad, které je jižním směrem a dále i město Tatranská Lomnica.

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.6.

Vyhodnocení

Z tohoto stanoviště jsou opět měřeny rušivé jasy nad městem Popradem, které nyní leží v jižním směru. Hodnoty jasů dosahují $0,045 \text{ cd/m}^2$ v 0° nad horizontem a jas se pohybuje od $0,02 \text{ cd/m}^2$ do $0,05 \text{ cd/m}^2$. Ve 30° nad horizontem se jasy pohybovaly okolo $0,005 \text{ cd/m}^2$ nad městy Poprad a Tatranskou Lomnicí a $0,002 \text{ cd/m}^2$ nad neobydlenými oblastmi a v zenitu. Z výše uvedených měření jasů vyplývá, že pro toto stanoviště a uvedenou výšku oblačnosti lze chápat jas oblohy od 15° nad horizontem jako neovlivněný rušivým světlem.

11.7 Měření na Nové Knihovně, VŠB - 29.10. 2008:

Měření bylo provedeno na střeše budovy Nová Knihovna v areálu VŠB-TU Ostrava. Zde bylo několik velkých zdrojů rušivého osvětlení. Patří mezi ně budovy na kolejích VŠB, budova Akademie věd, budovy Fakultní Nemocnice v Porubě a obytné domy v Ostravě Porubě.

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.7.

Vyhodnocení

Jelikož bylo měřicí stanoviště níže, než některé budovy kolem stanoviště, byly největší hodnoty jasů naměřeny přímo na budovách kolejí VŠB, nemocnice a Akademie věd, kde průměrné hodnoty jasů dosahovaly až 6 cd/m^2 . Naopak zhruba od 0° až po 120° (Ostrava – Poruba) byly budovy už pod horizontem. Zde už se neuplatňují přímo jasy budov, ale jasy oblohy v oblastech nízko nad horizontem. Tyto jasy dosahují nejvyšších hodnot $0,5 \text{ cd/m}^2$ (směrem k Hlavní Třídě). Z důvodů proměnlivé oblačnosti se jasy nad touto oblastí pohybují ve vyšších hodnotách až do 30° nad obzorem, kdežto v západním směru, kde jsou jen některé budovy pod bezoblačnou oblohou, jsou jasy ve vyšších výškách výrazně nižší. V zenitu byla hodnota

jasu $0,053 \text{ cd/m}^2$ (ovlivněna oblačností) podle měření jasovým analyzátozem a průměrně $0,06 \text{ cd/m}^2$ podle hodnot naměřených jasoměrem. Minimální hodnoty jasů $0,03 \text{ cd/m}^2$ se vyskytovaly až v oblasti mezi zenitem a západním horizontem z důvodů minimální oblačnosti a absence rušivých zdrojů světla v tomto směru.

11.8 Měření v Chlebovicích-30.9. 2008:

Severovýchodně od místa stanoviště se nachází město Frýdek-Místek, které bylo hlavním cílem měření. Dalším zdrojem rušivého jasů byla obec Chlebovice severozápadním směrem. Měření proběhlo na Palkovickém kopci

Grafické vyhodnocení jednotlivých měření viz Příloha č.8.

Vyhodnocení

Nad obcí Chlebovice je zřejmé, že je největší hodnota jasů asi $0,2 \text{ cd/m}^2$ v cca 10° nad horizontem. Nad městem Frýdek – Místek se hodnoty jasů pohybují okolo $0,06 \text{ cd/m}^2$ od 5° až po 45° nad obzorem. Je to opět způsobeno zataženou oblohou. V zenitu byla hodnota jasů $0,0266 \text{ cd/m}^2$ naměřena jasovým analyzátozem a $0,014 \text{ cd/m}^2$ jasoměrem.

11.9 Měření v Jablonci nad Nisou a v celém Libereckém kraji

V polovině září roku 2009 se uskutečnilo pod záštitou Libereckého kraje – ve spolupráci se Sdružením obcí Libereckého kraje, Českou společností pro osvětlování, Společností pro rozvoj veřejného osvětlení a Technickou univerzitou Ostrava rozsáhlé měření parametrů noční oblohy. Během dvou nocí bylo postupně vypínáno veřejné osvětlení v celém Libereckém kraji. Cílem měření bylo stanovení podílu veřejného osvětlení, ale také dalších složek venkovního osvětlení na celkovém množství rušivého světla.

Liberecký kraj pro tuto studii nebyl vybrán náhodně. V kraji se vyskytují environmentální oblasti všech možných stupňů (od průmyslových a obchodních center až po chráněné krajinné oblasti). Příznivá je i topografie kraje, kdy je možné ze tří míst (Ještěd, hrad Bezděz, rozhledna Kozákov) posoudit charakter vyzářování světla v celé oblasti.

Rušivé světlo nebylo doposud kvantifikováno z hlediska příspěvků jednotlivých skupin zdrojů světla kvantifikováno – jedná se například o veřejné osvětlení, okna bytů a pracovišť, světelné reklamy, architektonické osvětlení, osvětlení obchodních center a osvětlení venkovních sportovišť. Toto měření se soustředilo zejména na posouzení vlivu jednoho ze zdrojů rušivého světla – veřejného osvětlení. To je v současné době považováno za nejdominantnější, a to aniž by to bylo nějakým exaktním způsobem prokázáno.

Kvantifikace skutečného stavu by mohla mít významný vliv na hledání způsobů omezování rušivého světla, řešení stížností občanů, biologů, ekologů, astronomů, popřípadě jiných skupin.

Měření byla také prováděna proto, aby se získaly údaje o jasech noční oblohy v různých lokalitách zarušených umělými zdroji světla. Výsledky by měly sloužit k verifikaci fyzikálního modelu noční oblohy. Ten má po ověření sloužit ke stanovení vlivu nejrozličnějších zdrojů světla (veřejného osvětlení, ale i celých měst) na jas noční oblohy, nežádoucí osvětlení krajiny a dalších rušivých účinků. Dalším cílem bylo zjištění, jak bude působit soustava lokálně, ale i ve vzdálenějších oblastech za jasné oblohy, ale i při nejrozličnějších povětrnostních podmínkách. Při zatažené obloze má totiž osvětlení ty největší rušivé dopady na noční prostředí.

Měření byla prováděna v průběhu dvou nocí. První noc strávil měřicí tým v okolí města Jablonec nad Nisou. V rámci druhé noci už ale byla snímána oblast celého Libereckého kraje a měřicí stanoviště byla v následujících čtyřech lokalitách – rozhledna Královka, hrad Bezděz, rozhledna na Kozákově a střecha budovy krajského úřadu Libereckého kraje.

11.9.1. Použité měřicí přístroje

Jasový analyzátor LMK mobile advanced

Pomocí tohoto jasového analyzátoru lze sejmut jasovou mapu v požadovaném prostorovém úhlu. Měřený prostorový úhel lze měnit pomocí různých typů objektivů. Pro sejmutí jasové mapy celého horního poloprostoru (noční oblohy) lze s výhodou použít tzv. rybí oko s prostorovým úhlem 2π steradiánů. Součástí jasového analyzátoru je digitální jednooká zrcadlovka Canon a software LMK 2000, který z naměřeného snímku vytvoří jasový kanál, ve kterém je uložena informace o hodnotě jasu pro daný makropixel.

Jasoměr Konica Minolta LS-100

Měření je prováděno pomocí optiky s měřícím úhlem 1° . Konstrukce optického systému zajišťuje, že nedojde k rušení mezi měřenou oblastí uvnitř hledáčku a okolní oblastí vně hledáčku. Přístroj umožňuje nastavit okamžité měření jasu, měření poměru jasů nebo měření nejvyšší hodnoty jasu či nejvyššího poměru jasů. Měřené hodnoty mohou být přenášeny po datovém kanálu a zpracovány v počítači. Měřicí rozsah je od $0,001 \text{ cd/m}^2$, přičemž přesnost udávaná výrobcem pro malé hodnoty jasů ($0,001$ až $0,999 \text{ cd/m}^2$) činí $\pm 2\%$ ± 2 číslice zobrazené hodnoty. Z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o bodové měření.

Luxmetr MX-Elektronik MINILUX

Jak již z názvu vyplývá je přístroj Minilux konstruován pro měření nízkých hodnot osvětleností. Rozsah měření udávaný výrobcem je $0,001 \text{ lx} - 199,9 \text{ klx}$. Čidlo luxmetru je opatřeno kosinovým nastavcem a citlivost čidla odpovídá spektrální citlivosti lidského oka podle křivky V_λ .

Unihedron – Sky Quality Meter (SQM)

Jedná se o malé přenosné zařízení, které volně přeloženo určuje „kvalitu oblohy“ z hlediska rušivého světla. Zařízení má filtr, který umožní vyhodnocení pouze záření ve viditelném spektru. Filtr odstraní spektrum blízké infračervenému a tím potlačí teplotní vliv na měřicí senzor. Měření se provádí zaměřením přístroje na zenit a trvá maximálně 60 sekund. Měří se kužel o vrcholovém úhlu 40°, tedy 20° od osy měření. Měřená hodnota je zobrazena v mag/arcsec².

LMK Mobile Advanced

Nikon E4500 s FE

Další fotoaparát s objektivem Fish Eye pro snímání jasů celého horního poloprostoru. Pořízené snímky se pak převádějí na jasové mapy pomocí programu LumiDISP, kde je vytvořena kalibrační funkce pro tento měřicí přístroj. Tento fotoaparát má rozlišení 4 megapixely, což zajišťuje dostatečné rozlišení pro zpracování jasové analýzy. Je zde rovněž možnost manuálního nastavení doby expozice potřebné pro zachycení nízkých úrovní jasů noční oblohy.

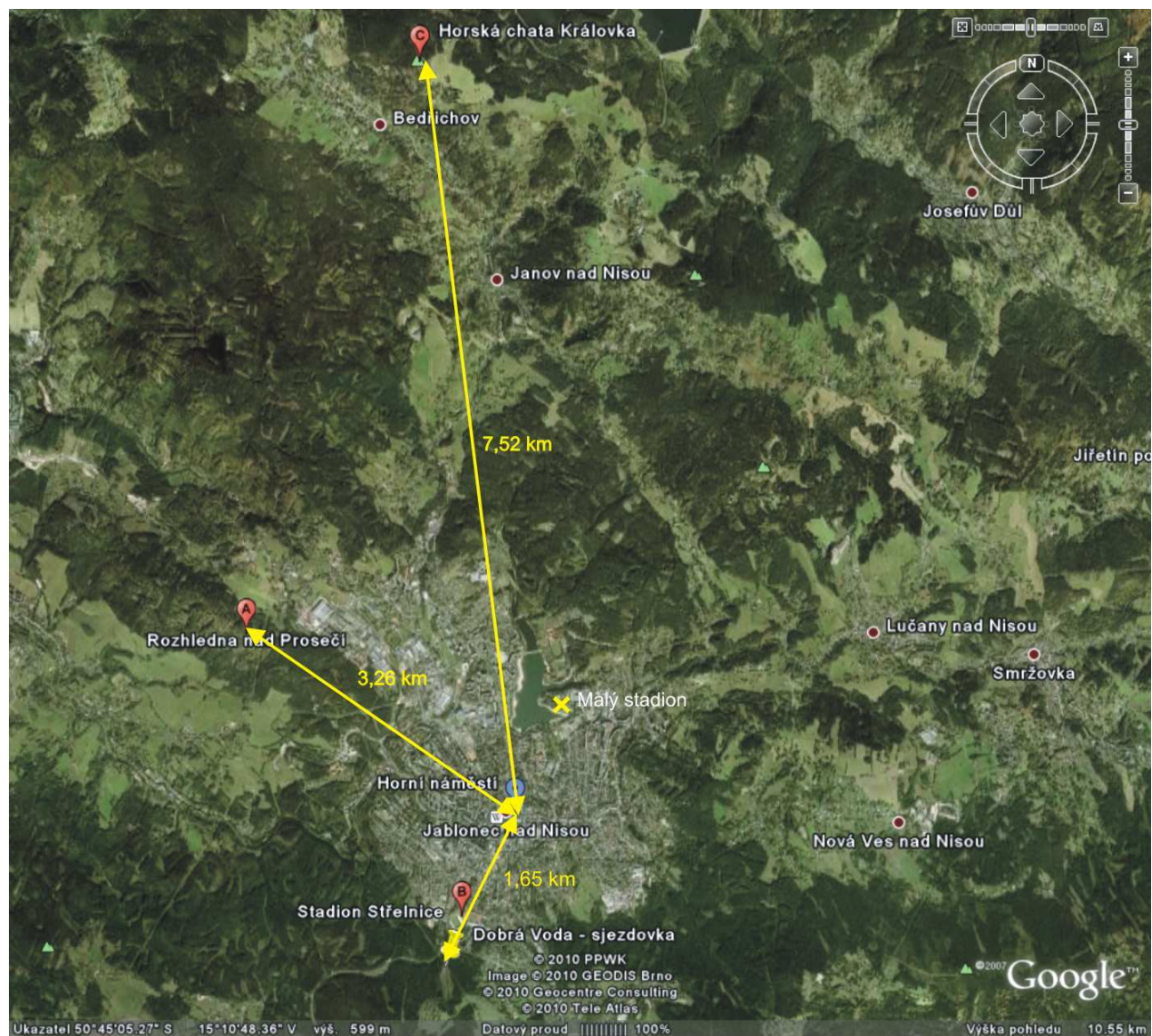
Další použité měřicí přístroje pracují na obdobných principech, jako výše uvedené. Při obou měřeních byly obsazeny čtyři stanoviště a každé z nich mělo své specifické vybavení. Použité přístroje jsou pak uvedeny u zpracování výsledků jednotlivých stanovišť.

11.9.2. Popis měření jasů noční oblohy v Jablonci nad Nisou

První noc, ze středy 16. září na čtvrtek 17. září roku 2009, proběhlo měření jasů noční oblohy nad samotným městem Jablonec nad Nisou proti hřebenům Jizerských Hor a masivu Černostudničního hřebenu s cílem zjistit vliv jednotlivých typů osvětlovacích soustav jako jsou: VO, okna, reklamy, průmysl, architektura, eventuálně venkovní sportoviště. Jedním z hlavních důvodů nebylo jen zkoumání rušivých jasů noční oblohy a jejich elementární zdroje, ale také vyzkoušení koordinace celého týmu a způsob měření. První noc bylo vypínáno veřejné osvětlení pouze v Jablonci nad Nisou, kdežto druhou noc bylo vypínáno VO v celém Libereckém kraji.

Místo měření: Město Jablonec nad Nisou

Popis města: Průměrná nadmořská výška: 475 m
Souřadnice GPS střed města: N 50° 43' 28", E 15° 10' 05"
Počet obyvatel: 46.287
Rozloha města Jablonce nad Nisou: 31,39 km²



Obr. 11.2: Mapa s měřicími stanovišti v Jablonci nad Nisou a jeho okolí

Na Obr. 11.2 je mapa okolí města Jablonce nad Nisou, kde jsou žlutými body vyznačena jednotlivá měřicí stanoviště. Tato měřicí stanoviště jsou podrobněji popsána v dalších oddílech, kde jsou uvedeny i zpracované výsledky z naměřených dat.

Popis soustavy veřejného osvětlení města Jablonce nad Nisou

| | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Správce VO: | Technické služby města Jablonce n.N. |
| Počet světelných míst (SM): | 6 351 ks |
| Regulace: | 70% celku, (skoková) |
| Pracovní napětí: | 230 V |
| Pracovní napětí regulace: | 200 V |
| Průměrný příkon 1 SM: | 90 W |
| Celkový příkon SM: | 601 KW |

| | |
|---------------------------------|---------|
| Počet obyvatel na SM: | 7,29 |
| Počet SM na 1 km ² : | 202,326 |

Popis osvětlovací soustavy stadionu FK BAUMIT JABLONEC

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Provozovatel: | FK BAUMIT JABLONEC |
| Počet stožárů 4: | výška stožárů 36 m |
| Počet svítidel: | 4*59 ks = 236 ks |
| Příkon svítidla: | 2 kW |
| Celkový příkon osvětlení: | 472 kW |
| Osvětlovaná plocha: | 10.000 m ² |

Atmosférické podmínky:

V průběhu celé noci se oblačnost na obloze měnila od polojasna až na zataženo. Jednotlivé úrovně oblačnosti jsou vysledovatelné z jasových map pořízených pomocí jasových analyzátorů, které byly umístěny na měřicích stanovištích v Jablonci nad Nisou a jeho okolí. Teplota se pohybovala mezi 15°C do 17°C.

Průběh měření

20h 30min – zapnutí kompletního osvětlení stadionu FK Baunit a zapnutí VO
20h 45min – stadion FK Baunit – cca 40%
20h 50min – stadion FK Baunit - cca70% , zapnutý i malý fotbalový stadion
21h 00min – stadion FK Baunit - 100% (na hrací ploše 1200lx),
malý stadion (16 svítidel s příkonem 2 kW),
vypnutí VO, částečně – problém s vypnutím
21h 23min – vypnutí stadionu
21h 25min – zapínání VO
23h 00min – regulace VO
00h 50min – vypnutí VO

11.9.2.1. Měřicí stanoviště 1 - Horní Náměstí - střed města

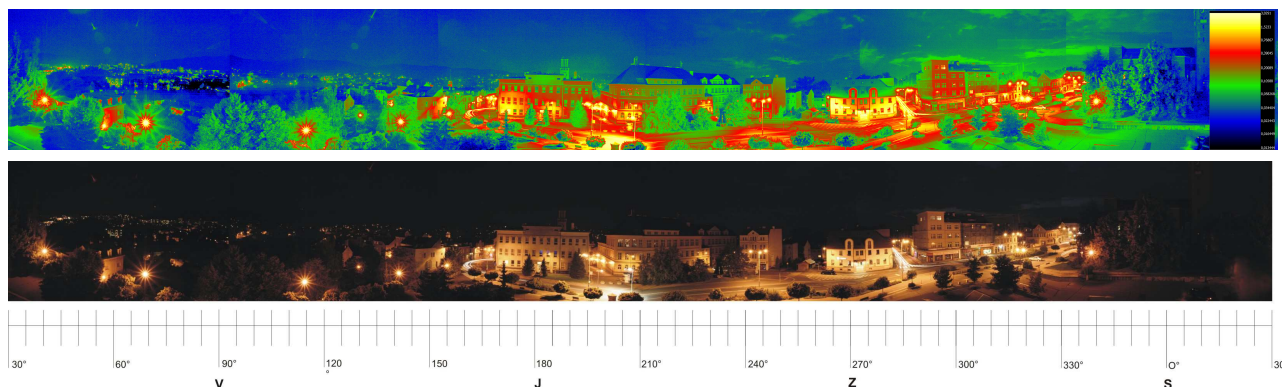
Měřicí stanoviště bylo umístěno na Horním náměstí ve středu města Jablonce nad Nisou v nadmořské výšce 580 m s GPS souřadnicemi N 50.43,5766, E 15.10,2724. Měření probíhalo na montážní plošině Technických služeb Jablonce nad Nisou ve výšce 16 m nad zemí. Na níže uvedeném obrázku (Obr. 11.3) je přehledový panoramatický snímek (jasová mapa v horní části obrázku a klasická fotka v dolní části) pořízený z plošiny uprostřed náměstí v čase 20 hodin a 5 minut.

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- jasový analyzátor LMK s objektivem rybí oko – měření celého horního poloprostoru
- jasový analyzátor LMK s originálním objektivem – měření jasů v oblastech okolo horizontu (viz Obr. 11.24)
- luxmetr Minilux – měření osvětlenosti způsobené odraženým světelným tokem z horního poloprostoru
- sky quality meter SQM – měření jasnosti oblohy v magnitudách

Popis okolí z místa měření

- popis je proveden na základě fotografie uvedené na Obr. 11.3
- od severu k východu se vyskytují na fotografiích následující objekty – věž kostela, sídliště Mšenov, sídliště Šumava (30° od severu), sportovní centrum, průmyslová zóna Paseka a další bytová zástavba,
- od východu k jihu se nachází bytová zástavba a centrum města,
- od jihu k západu je postavena věž radnice a fotbalový stadion,
- od západu k severu se nachází areál nemocnice, průmyslová zóna Rýnovice a věznice.



Obr. 11.3: Panoramatický pohled složený z pořízených fotografií (spodní část) a jasových map (horní část) na měřicím stanovišti na Horním náměstí v Jablonci nad Nisou s vyznačením světových stran (osa pod panoramatem)

Naměřená data

Naměřená data viz Příloha č.9.

Dílčí vyhodnocení

Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:

- průběhy zenitních jasů ($\pm 30^\circ$ od zenitu) a osvětleností spolu korespondují a průběh magnitud je inverzní, což odpovídá předpokladům. Průběhy těchto veličin v čase ukazují na fakt, že naměřená data byla vyhodnocována korektně ve stejných časech daných intervaly změn venkovního osvětlení v Jablonci nad Nisou.

- kromě změn světelného toku jdoucího z města má výrazný vliv na naměřené veličiny oblačnost (rozptylové podmínky).
- z naměřených dat lze usuzovat, že největší vliv na jasy horního poloprostoru při nízké proměnlivé oblačnosti má fotbalový stadion, který díky své konstrukci (tribuny) ovlivňuje zejména zenitní jasy.
- z vyhodnocování ovlivňování horního poloprostoru lze konstatovat, že pokud není horní poloprostor zaplněn oblačností, dochází k ovlivnění jasů oblohy do cca 30° nad horizontem.
- pokud je kompletně zatažená obloha, zvyšuje se jas celého horního poloprostoru.
- hodnocení vlivu VO, oken a venkovního osvětlení (reklamy, průmyslové podniky, ...), nebylo možné provést, protože docházelo ke značným změnám oblačnosti. Například zvýšení vlivu oblačnosti je patrné při regulaci VO po 23 hodině, kdy se zároveň snižoval i vliv ostatních zdrojů světla, a přesto došlo ke zvýšení jasů oblohy ve všech měřených směrech i v zenitu.
- pokud bychom zanedbali změny oblačnosti během měření, lze odhadnout, že jas oblohy nad městem Jablonec nad Nisou může být ovlivněn veřejným osvětlením až ze 70%.

11.9.2.2. Měřicí stanoviště 2 - Dobrá Voda, sjezdovka

- nadmořská výška 674 m, GPS: N 50.42,4735,E15.09,6671

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- Kalibrovaný fotoaparát Panasonic 12
- SQM

Popis okolí z místa měření

Na měřicím stanovišti v Dobré Vodě na sjezdovce v nadmořské výšce 674 m bylo hlavním cílem měření a následného vyhodnocení hodnota průměrného jasu ohraničeného města (oblast 1) a jasu oblohy nad městem (oblast 2) při jednotlivých situacích a zvláště při zapnutém a vypnutém umělém osvětlení na městském stadionu.

Naměřená data

Naměřená data viz Příloha č.9.

Dílčí vyhodnocení

Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:

- porovnáním jasů nad městem (odražená složka světelného toku od nízké oblačnosti) a přímé složky (světelné zdroje) s odraženou složkou od země (průměrný jas města) dojdeme k závěru, že tyto složky mají logicky podobné průběhy. Nicméně je nutné brát v úvahu to, že pokud jsou v zorném poli i přímé

světelné zdroje, pak jasy těchto jsou výrazně větší. Námi naměřené rozdíly pro nízkou oblačnost (vysoká odraznost oblohy) jsou v rozdílu řádu. Při nízkých oblačnostech se tento rozdíl ještě zvětší.

- průběhy změn odpovídají změnám naměřených ze stanoviště z centra města.

11.9.2.3. Měřicí stanoviště 3 - rozhledna Proseč - ohoz rozhledny

- nadmořská výška 653 m, GPS: N 50.44,5325E, 15.07,7803

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- kalibrovaný fotoaparát Nikon s rybím okem, kalibrovaný fotoaparát Nikon s originálním objektivem
- luxmetr minilux
- sky quality meter SQM

Popis okolí z místa měření

Měřicí stanoviště bylo umístěno na ochozu rozhledny Proseč nedaleko města Jablonce nad Nisou. Z měřicího stanoviště na ochozu rozhledny nebylo možné vyhodnocovat celý horní poloprostor, jak tomu bylo u měřicího stanoviště na Horním náměstí v Jablonci nad Nisou a proto nebyly pořizovány snímky horního poloprostoru pomocí rybího oka. Na jasových mapách je opět vyhodnocován průměrný jas města Jablonce nad Nisou a průměrný jas oblohy nad městem ve směru pohledu na věznici a malý fotbalový stadion.

Naměřená data

Naměřená data viz Příloha č.9.

Dílčí vyhodnocení

Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:

- z měření pomocí luxmetru a SQM metru vyplývá, že hodnoty snímané z horizontu jsou ovlivněné stavem atmosféry pouze minimálně a téměř se nemění, zatímco hodnoty snímané pod úhly blízcími se k zenitu už jsou značně ovlivněny touto proměnnou.
- změny jasů města a nad městem korespondují svými změnami opět v rozmezí jednoho řádu
- vlivem velkého jasu věznice, který je vůči ostatním světelným zdrojům dominantní nedochází v naměřených hodnotách ke skokovým změnám naměřených hodnot vlivem odpínání VO
- vzhledem k tomu, že velký fotbalový stadion není v zorném poli jasového analyzátoru, tak ani tento nemá na naměřené jasy vliv.

11.9.2.4. Měřicí stanoviště 4 - rozhledna Královka - ochoz rozhledny

nadmořská výška 910 m, souřadnice GPS N 50.47,5172, E 15.09,4550 .

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- jasový analyzátor ROLLEI s originálním objektivem na Jablonec a do zenitu
- luxmetr Minilux
- jasoměr Minolta LS100

Naměřená data

Naměřená data viz Příloha č.9.

Dílčí vyhodnocení

Z naměřených dat lze vyvozovat následující dílčí závěry:

- z naměřených hodnot jasů města a nad městem nelze vyvodit téměř žádné závěry, protože vyhodnocovaná oblast neohraničuje pouze zdroje rušivého světla, ale i široké okolí,
- jas města je příliš nízký, zejména z důvodu, neboť do vyhodnocované oblasti jsou zahrnuty i lesy,
- skokové změny jasů oblohy nejsou zachyceny, protože do vyhodnocované oblasti je zahrnuta celá oblast vyhodnocovaného snímku. Část snímku zachycuje oblohu nad tmavými horskými oblastmi.

Celkové vyhodnocení měření

Naměřená data splnila svůj účel. Během tohoto měření byly ověřeny všechny měřicí aparatury, které byly použity při měření v rámci celého Libereckého kraje.

Protože byla během tohoto měření nízká proměnlivá oblačnost, tak nebylo možné striktně vyhodnocovat vliv veřejného osvětlení. Nicméně díky této proměnlivosti lze naopak stanovit velmi významný vliv oblačnosti na jas oblohy v oblastech se zdroji venkovního umělého osvětlení.

Pokud bychom eliminovali vliv oblačnosti, tak by se s mírnou nadsázkou dalo z naměřených dat vyvodit, že vliv VO na rušivé světlo se blíží hodnotě 70%.

11.9.3. Měření jasů noční oblohy v Libereckém kraji

Čtvrtek 17.9.2009 / Pátek 18.9.2009

Měřicí stanoviště v Libereckém kraji byla zvolena tak, aby byl zachycen celý kraj a aby byla větší města pozorovatelná z více měřících stanovišť pro porovnání výsledku měření. Na Obr. 11.4 je mapa Libereckého kraje se čtyřmi vyznačenými měřícími stanovišti.

Místo měření: Liberecký kraj

Popis kraje:

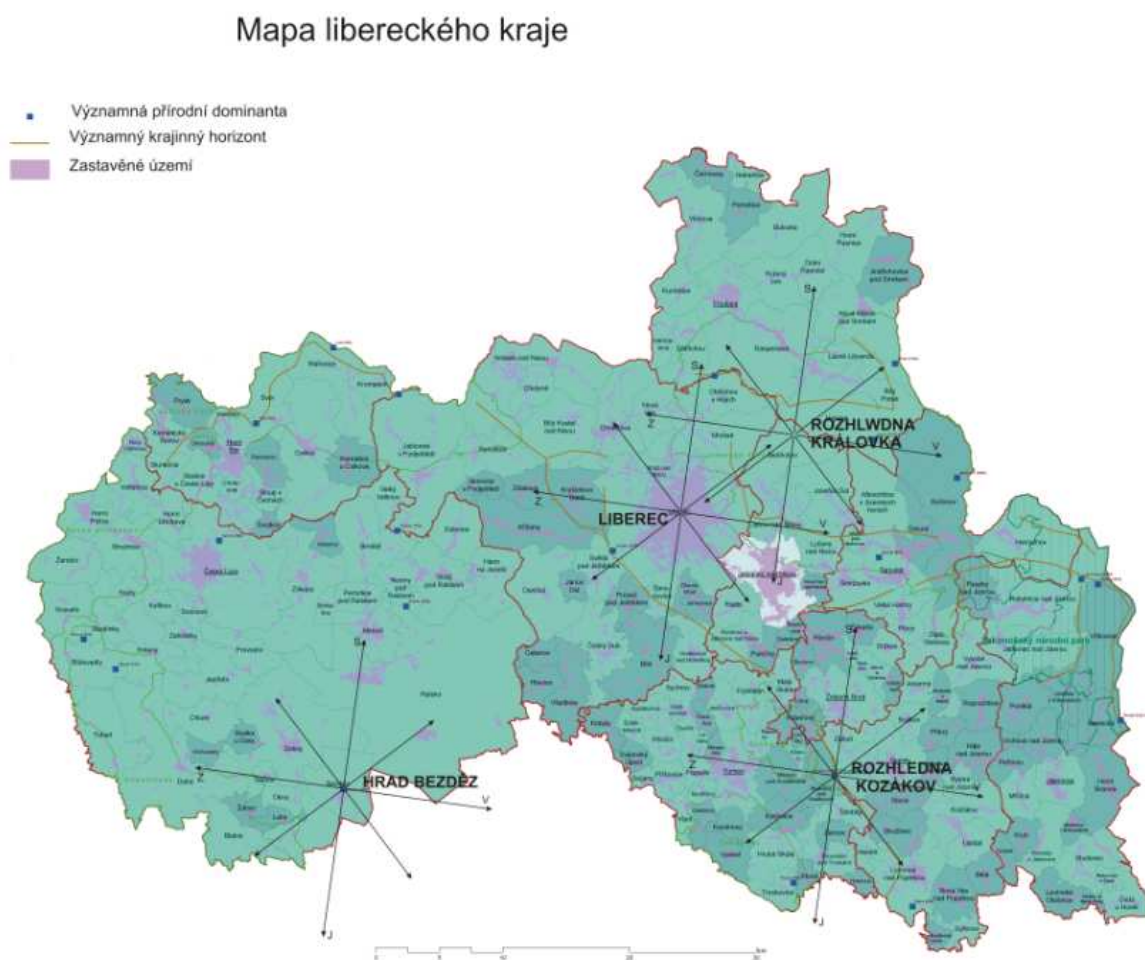
Průměrná nadmořská výška: neurčena

Počet obyvatel: 433.948

Rozloha kraje: 3.163 km²

Hustota zalidnění: 137,2 obyvatel na 1 km²

Počet okresů: 4 a to CL, LB, JN, SM



Obr. 11.4: Mapa s měřícími stanovišti v Libereckém kraji s vyznačením směrů světových stran

Administrativně se kraj dělí na 4 okresy a 215 obcí (z toho 36 se statutem města).

Tab. 11.5 Údaje o Libereckém kraji

| Okres | Počet obyvatel | Rozloha | Hust. zal. | Počet obcí |
|--------------------|----------------|----------|---------------|---------------|
| Česká Lípa | 103.352 | 1.072,91 | 96 | 57 |
| Jablonec nad Nisou | 89.681 | 402,30 | 223 | 34 |
| Liberec | 167.052 | 988,87 | 169 | 59 |
| Semily | 74.666 | 698,99 | 107 | 65 |

Popis soustavy veřejného osvětlení – odhad:

| | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Správce veř. osvětlení: | všechny druhy |
| Regulace: | částečná 10% celku, (skoková) |
| Pracovní napětí: | 230 V |
| Pracovní napětí regulace: | 200 V |
| Průměrný příkon 1 SM: | 130,39 W |
| Celkový příkon SM: | 9.217.215 KW |
| Počet SM na 1 obyvatele: | 6,14 |
| Počet SM na 1 km ² : | 22,3 |

Plán měření

21h – 21h 45min – první měření, VO na 100%
22h 30min – měření VO s vlivem oken
23h 00min – 00h 00min – měření regulovaného VO (pouze některé obce)
00h 00min – 00h 45min – měření regulovaného VO (ostatní obce vyplé)
01h 05min – VO vypnuté
02h 15min – opětne zapnutí VO

Atmosférické podmínky během měření:

- snížená oblačnost, proměnlivá mlha,
- vzhledem k velikosti měřené oblasti a rozložení měřících stanovišť nebylo počasí ve všech stanovištích stejné.

11.9.3.1. Stanoviště 1 – rozhledna Královka

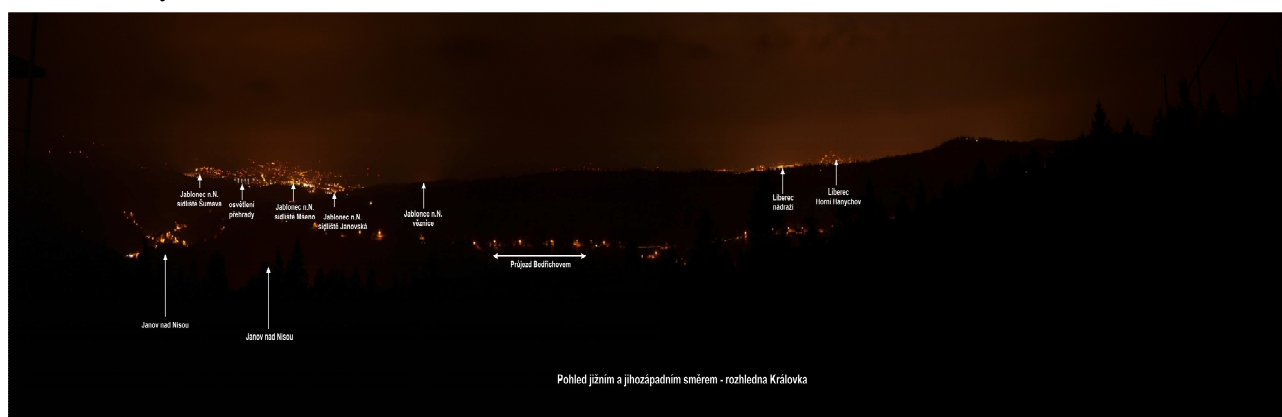
- nadmořská výška 910 m, souřadnice GPS N 50.47,5172, E 15.09,4550

Přístrojové vybavení měřícího stanoviště:

- jasový analyzátor OLLEI s originálním objektivem na všechny strany a do zenitu,
- digitální zrcadlový fotoaparát Olympus,
- kompas.

Popis okolí místa měření:

- pohled z měřícího stanoviště je vyobrazen na Obr. 11.5,
- u tohoto stanoviště byl měřen průměrný jas měst Jablonec nad Nisou a Liberec a oblohy nad těmito městy.



Obr. 11.5: Geografický popis panoramatického pohledu z místa stanoviště rozhledna Královka

Naměřená data

Naměřená data viz Příloha č.10.

Dílčí vyhodnocení

Z obrázků v Příloze č.10 je patrné, že jasy oblohy se nad městy Jablonec nad Nisou a Liberec po vypnutí VO výrazně zmenšily. Změna se pohybuje mezi 70% (u jasu oblohy nad městem Liberec) až 90% (jas oblohy nad městem Jablonec nad Nisou). Průměrný jas města a oblohy nad městem Jablonec nad Nisou nedosahuje takových rozdílů, jako u průměrného jasu oblohy nad městem. Důvod tohoto je v určení vyhodnocování oblasti, kde u oblasti, která zahrnuje průměrný jas města je i zahrnuta tmavá oblast lesa.

11.9.3.2. Stanoviště 2 – Krajský úřad - Liberec

Střecha výškové budovy Krajského úřadu v Liberci. Měření jasů oblohy nad centrem města Liberce a pohledu za horizont směr Jablonec.

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- Nikon s FE, Nikon s originálním objektivem do zenitu a nad Jablonec,
- Panasonic 10,
- Minilux,
- SQL,
- Digitální zrcadlový fotoaparát, kompas.

Poznámky:

- měření Miniluxem před zhasnutím – 0,069 lux
- měření Miniluxem po zhasnutí – 0,035 lux

Popi okolí z místa měření

- měření jasu oblohy nad oblastmi Liberec centrum, obchodní centrum NISA, liberecká spalovna, města Jablonec nad Nisou, hlavním nádražím v Liberci a obchodním centrem GLOBUS

Naměřená data

Naměřená data viz Příloha č.10.

Dílčí vyhodnocení

Měřené oblasti průměrných jasů oblohy nad obchodním centrem GLOBUS, nad městem Jablonec nad Nisou se zhruba do času 0:30 výrazně nemění, zvláště pak nad obchodním centrem GLOBUS minimálně. Ostatní oblasti (jas v zenitu a hlavní nádraží) vykazují větší změny průměrných jasů oblohy. V čase, kdy už bylo VO částečně vypnuté, průměrné jasy oblohy klesly. V oblasti nad obchodním centrem NISA jsou změny průměrných jasů nejnižší, i po vypnutí VO nijak razantní.

V dalších obrázcích viz Příloha č.10 je v grafech opět vidět, jak se s různými situacemi mění měřené jasy a osvětlenosti oblohy.

11.9.3.3. Stanoviště 3 – hrad Bezděz

- Hláška hradu Bezděz-západní část Libereckého kraje, GPS N 50.32,3406 E 14.43,2006
- Nadmořská výška 689 m

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- LMK s FE,
- LMK s originálním objektivem do zenitu a po 45-ti stupních,
- kompas.

Popis okolí z místa měření

- Stráž pod Rálskem, Turnov, Mnichovo Hradiště (středočeský kraj nebude vypnuto), Bělá pod Bezdězem
- (středočeský kraj nebude vypnuto), Mladá Boleslav (středočeský kraj nebude vypnuto), obec Bezděz, Doksy,
- Česká Lípa, Zákupy, Mimoň.
- Celkové snímání po 45 stupních od severu směrem na východ 0-360 st.
-

Naměřená data

Naměřená data viz Příloha č.10.

Dílčí vyhodnocení

Na sloupcovém grafu viz Příloha č.10 jsou vyhodnoceny jasy oblohy nad městy Liberec a Česká Lípa, ve kterých se VO vypínalo a jas oblohy nad městem Mladou Boleslavi, kde se VO nevypínalo. V grafu je vidět, že změny průměrných jasů byly i nad nevypínaným městem. Tyto změny se dají přisoudit atmosférickým podmínkám, které byly na měřicím stanovišti velmi proměnlivé. V porovnání velikosti změn u jednotlivých oblastí, kde se VO vypínalo a s oblastí nad Mladou Boleslavi je vidět, že vypínání VO má vliv na průměrný jas oblohy nad těmito oblastmi.

Na obrázku viz Příloha č.10 jsou vyneseny hodnoty osvětlenosti (pravá svislá osa) a hodnoty naměřené pomocí přístroje SQM v magnitudách (levá svislá osa) proloženy polynomickou spojnici trendu pátého stupně. Opět je zde vidět, že čím je hodnota magnitud větší, tím je osvětlenost pod horním poloprostorem menší.

11.9.3.4. Stanoviště 4 - Kozákov

Ochoz hlásky PVO VÚ3255

GPS N 50.35,0655, E 15.15,7826,

Nadmořská výška 778 m

Přístrojové vybavení měřicího stanoviště

- Digitální zrcadlový fotoaparát Panasonic 12,
- SQL s optikou,
- kompas.

Popis okolí z místa měření

- Praha , Turnov, Mnichovo Hradiště (středočeský kraj nebude vypnuto), Mladá Boleslav (středočeský kraj nebude vypnuto),
- Železný Brod, Zásada, Tanvald, Příchovice, Bozkov, Vysoké nad Jizerou, Semily, Lomnice nad Popelkou, Jičín (východočeský kraj nebude vypnuto)
- Celkové snímání po 45 stupních od severu směrem na východ 0-360 st.

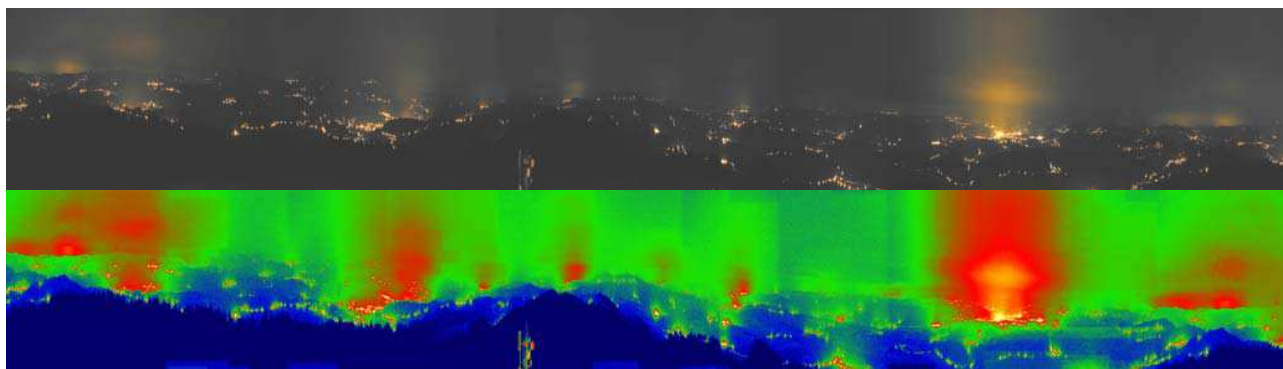


Obr. 11.6: Panoramatické pohledy ze stanoviště Kozákov v různých časech a za různých situací

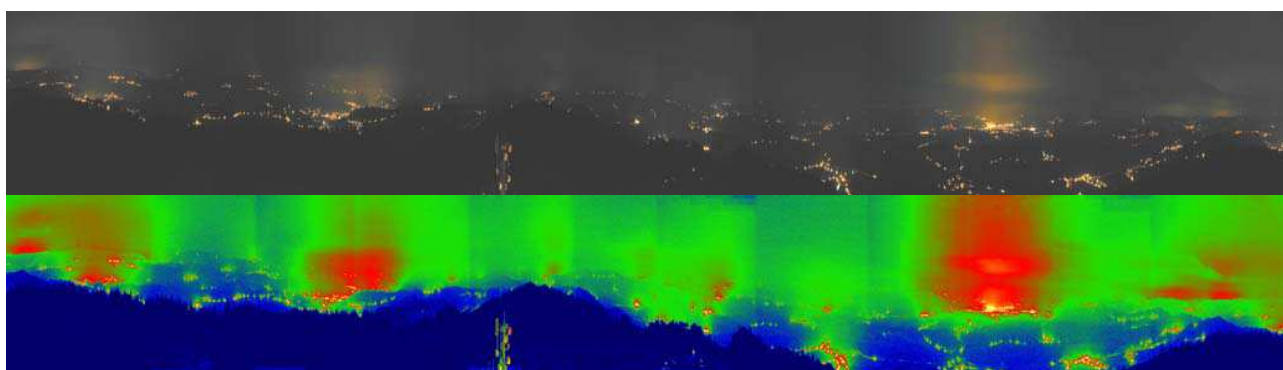
Na Obr. 11.6 jsou umístěny pod sebou jednotlivé panoramatické pohledy při různých stavech veřejného osvětlení.

Dílčí vyhodnocení

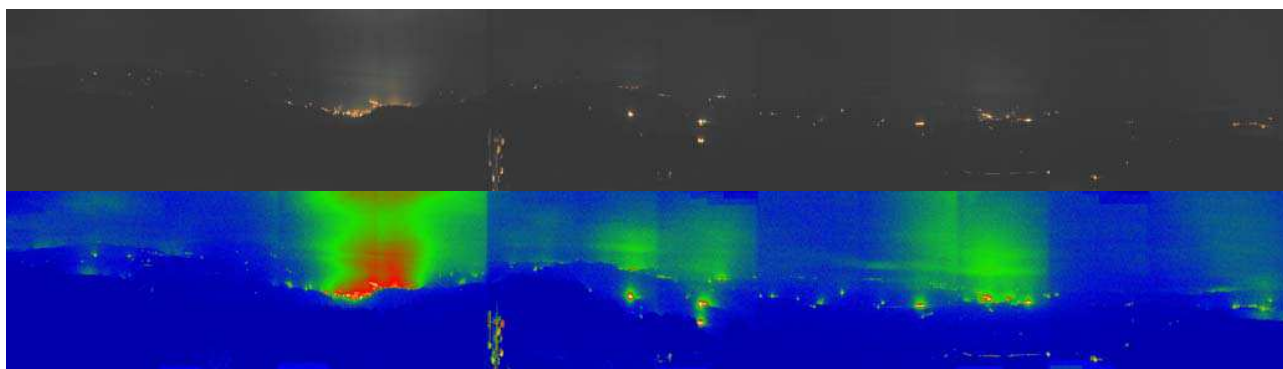
Panoramatické fotografie v čase byly upraveny v programu Olympus Master jas z 0 na hodnotu +60, kontrast z 0 na hodnotu +40. Uvedená úprava fotografií byla provedena pro lepší a zřetelnější viditelnost jednotlivých panoramatických fotografií v čase.



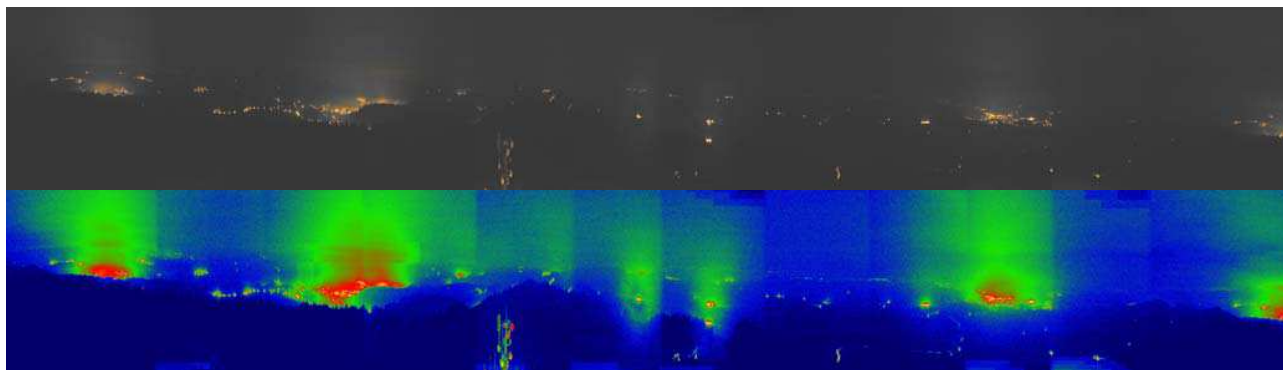
Obr. 11.7: 21,00 hod panoramatický pohled upravené fotografie a jasová analýza



Obr. 11.8: 22,00 hod panoramatický pohled upravené fotografie a jasová analýza (částečně vypnuté VO)



Obr. 11.9: 01,00 hod panoramatický pohled upravené fotografie a jasová analýza vypnuté VO obcí, svítí jen Semily.



Obr. 11.10: 02,00 hod panoramatický pohled upravené fotografie a jasová analýza zapnuté VO obcí

Celkové vyhodnocení

Předchozí měření v Jablonci nad Nisou ověřilo použité měřicí přístroje, které byly použity i při měření celého Libereckého kraje. Jelikož se jednalo o měřicí přístroje pracující na několika odlišných principech, celkové vyhodnocení se skládá z několika vyhodnocovacích metod. U měřících přístrojů pracujících na stejném principu není vyhodnocení zcela jednoznačné, díky různým měřícím stanovištím.

Výsledky zpracované v této části opět ukazují na fakt, že proměnlivá oblačnost je hlavním problémem k určení vlivu VO na jas noční oblohy. Nicméně i zde se pohybují rozdíly jasu noční oblohy při zapnutém VO a vypnutém VO okolo 70%. V extrémních případech až 90% a naopak i minimální rozdíl (10%) v oblastech, kde jsou jasy noční oblohy výrazně ovlivněny obchodními a průmyslovými centry.

Tento projekt byl jednoznačně největší ve své oblasti v České Republice a přinesl hodně nových poznatků a postřehu jak pro řešitelský tým tak i pro odbornou i neodbornou veřejnost.

Vzhledem k množství pořízených dat a jejich různorodosti nejsou zatím vyčerpány všechny možnosti vyhodnocení a je nutné dále pokračovat jak ve vyhodnocení, tak i pořizování dalších dat.

11.10 Měření rušivých účinků umělého venkovního osvětlení na Lysé hoře.

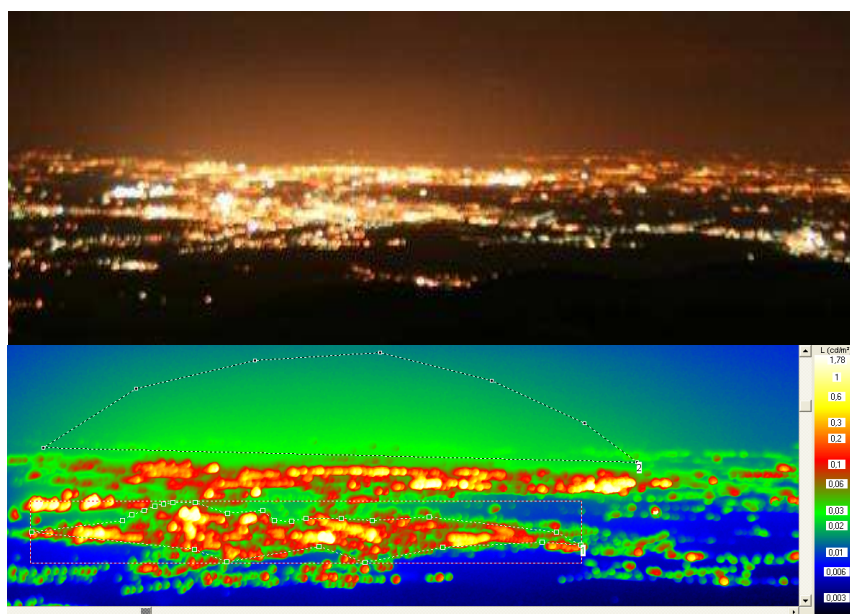
Měření probíhalo na Lysé hoře ve výšce 1324 metrů nad mořem. Měřená města se pohybují ve výšce asi 300 metrů nad mořem. Na Obr. 11.11 je uveden přibližný náčrt situačního schéma měření. Z tohoto místa byly pořízeny snímky tří měst, a to Frýdku-Místku, Českého Těšína a Nošovic. Dále byl pořízen snímek oblohy nad Frýdkem-Místkem.



Obr. 11.11: Popis situace při měření

Podmínky během měření:

- místo měření: vrchol Lysé hory 1323 m.n.m., Loc: 49°26'43.163"N, 18°22'21.954"E
- počasí
- teplota 8°C
- silný vítr

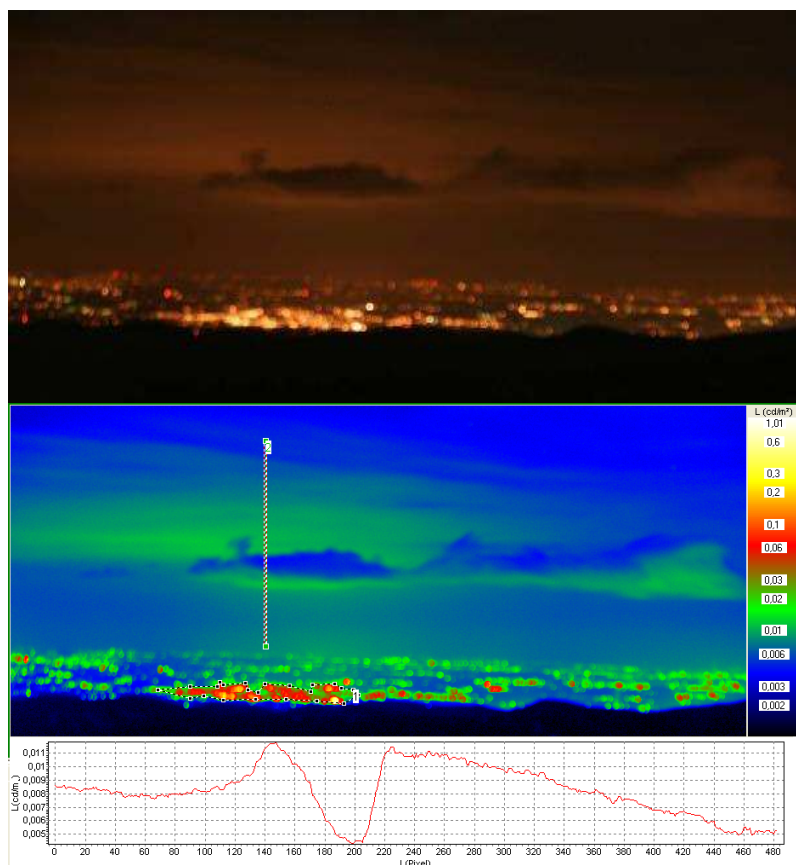


Obr. 11.12: Měřená oblast-Frýdek-Místek a obloha nad Frýdkem Místkem

Tab. 11.6: Tabulka hodnot jednotlivých polí:

| | | Průměrný jas | Minimální jas | Maximální jas |
|--------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Region | | (cd/m ²) | (cd/m ²) | (cd/m ²) |
| 1. | Ohraničené město Frýdek-Místek | 0,1799 | 0,0112 | 1,5290 |
| 2. | Obloha nad městem | 0,0196 | 0,0136 | 0,0387 |

Podle vyhodnocení pomocí jasového analyzátoru je průměrný jas města Frýdku Místku 0,1799 cd/m². Na Obr. 11.12 je snímek pořízený z Lysé hory, kde je vidět Frýdek Místek a obloha nad ním. Město je ohraničeno mnohoúhelníkem první oblasti a druhá oblast ohraničuje oblohu nad městem kde velikost průměrného jasu oblohy je 0,0196 cd/m². V Tab. 11.6 jsou taktéž vyznačeny minimální a maximální hodnoty jasů v obou polích.



Obr. 11.13: Snímek zachycující město Český Těšín a oblohu nad ním

Tab. 11.7 Odečtené hodnoty z první oblasti

| | | Průměrný jas | Minimální jas | Maximální jas |
|--------|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Region | | (cd/m ²) | (cd/m ²) | (cd/m ²) |
| 1. | Ohraničené město Český Těšín | 0,0535 | 0,0064 | 0,8760 |

Na Obr. 11.13 je vidět nerovnoměrná oblačnost nad městem. Změřené jasy nejsou rovnoměrné, jak je patrné z diagramu pod snímkem, který ukazuje průběh jasů po přímce zakreslené v Obr. 11.13. Oblast 1 z Tab. 11.7, která zachycuje město Český Těšín, má velikost průměrného jasu 0,0535 cd/m².

11.11 Měření na budově NK VŠB-TU v Ostravě Porubě

11.11.1. Dlouhodobé měření osvětlenosti od oblohy

Naměřené hodnoty

Měřicí aparatura na střeše budovy NK v areálu VŠB-TU Ostrava byla zprovozněna 5. května 2006. Od tohoto data snímá osvětlenost noční oblohy nad Ostravou. Střecha budovy byla zvolena záměrně, aby nedocházelo k ovlivňování měření přímými složkami osvětlenosti z blízkých zdrojů umělého osvětlení, ale také aby vyhodnocovala osvětlenost způsobenou rušivým světlem v oblasti okraje průmyslové aglomerace Ostravska. Měření se automaticky spouští a vypíná při dosažení úrovně osvětlenosti 5 lx. Nad touto hodnotou se čidlo luxmetru dostává do oblasti saturace. Také z hlediska měření osvětlenosti noční oblohy jsou hodnoty vyšší než 5 lx nezajímavé.

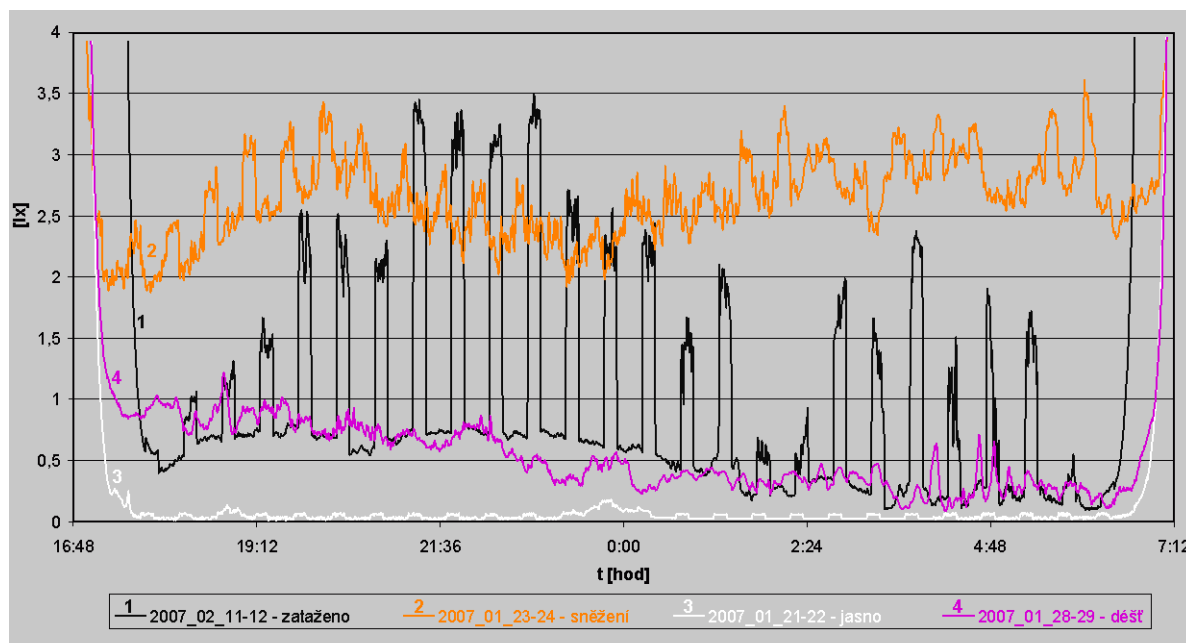
Na základě výše popsaných situací, při kterých lze měřit osvětlení pod noční oblohou byla provedena zkrácená ukázka možných situací ve smyslu různých meteorologických jevů, oblačností, fází Měsíce a stavu svítidla. Ukázka (viz Tab. 11.8) obsahuje několik řádků, zatímco měřicí zařízení měří každou noc cca 1700 takovýchto řádků.

Tab. 11.8: Ukázka tabulky naměřených hodnot

| Meteorologický jev | | Oblačnost | | Měsíc | | Datum | Čas | Luxmetr | Světlo |
|--------------------|-----------|------------|---------|-------|------|--------------|------------|---------|-------------|
| | | Poruba | Mošnov | | | | | | |
| Název | Intenzita | 0/10-10/10 | 0/8-9/8 | | Fáze | [dd.mm.rrrr] | [hh:mm:ss] | [lx] | 0-vyp,1-zap |
| DE KO | 0 0 | 10 | 8 | NE | D | 4.8.2007 | 2:27:35 | 0,371 | 0 |
| KO SN | 0 | 9 | 8 | | | 1.1.2008 | 18:34:10 | 0,133 | 0 |
| | | 2 | 1 | | | 2.1.2008 | 3:49:10 | 0,161 | 1 |
| | | 10 | 8 | | | 1.2.2008 | 17:13:56 | 1,505 | 1 |
| DE | 0-1 | 10 | 8 | | | 3.2.2007 | 2:12:56 | 0,281 | 0 |
| KO | 0 | 10 | 8 | | | 7.2.2007 | 23:53:26 | 0,241 | 0 |
| | | 9 | 5 | ANO | Nov | 10.8.2007 | 4:52:35 | 0,982 | 0 |

První dva sloupce popisují meteorologické jevy, přičemž v Tab. 11.8 jsou uvedeny zkratky těchto jevů (DE – déšť, KO – kouřmo, DE KO – déšť a kouřmo, KO SN – kouřmo se sněžením). Druhé dva sloupce tabulky Tab.11.8 popisují oblačnost dle již výše uvedené specifikace. Dva sloupce v oblasti Měsíce popisují, zda je měsíc nad obzorem (ANO) a v jaké se právě nachází fázi (dle výše uvedeného popisu). Dva sloupce s datem a časem není třeba rozebírat. Předposlední sloupec konečně uvádí naměřenou hodnotu osvětlenosti. Poslední sloupec tabulky udává pomocí Z a V (Zapnuto - Vypnuto), zda je noční obloha ovlivňována uměle generovaným rušivým světelným tokem ze světlometu o známých hodnotách.

Vybrané naměřené výsledky jsou vyneseny na Obr. 11.14. Skoky na Obr. 11.14 jsou způsobeny pravidelným spínáním svítidla, které vyzařuje světelný tok do horního poloprostoru a jeho odražená složka je zpětně snímána vyhodnocovacím zařízením (mililuxmetrem). Velikost změny odražené osvětlenosti závisí na stavu oblohy a toto vyhodnocování bude dalším krokem v rámci řešení tezí.



Obr. 11.14: Graf vybraných nocí z naměřených dat

Rozsah nočních osvětleností ukazuje na velkou dynamiku noční oblohy v oblasti s výskytem rušivého světla. Tuto dynamiku je nutné přičítat zejména změnám vlastností noční oblohy, následně fázím měsíce (pokud je obloha jasná) a v neposlední řadě i změnám rušivého umělého osvětlení.

Jednotlivé grafické výstupy viz, Příloha č.11.

Dále bylo měření doplněno, definovaným zdrojem rušivého světla, svítidlem XENON osazeným halogenovou žárovkou 1500 W, emitujícím do horního poloprostoru světelný tok o hodnotě cca 23 klm, které vyvolalo skokové změny v naměřených hodnotách a následně v grafech z prosince 2006 a ledna 2007. Vyhodnocení těchto rozdílů při znalosti atmosférických podmínek se lze v budoucnu dopracovat k základní vlastnosti jednotlivých typů obloh – a to odraznosti oblohy v přímém směru.

Sumář z dlouhodobých výsledků měření osvětleností najdeme v tabulkách (Tab. 11.9. a Tab. 11.10).

Tab. 11.9 Roztřídění naměřených hodnot do jednotlivých pásem osvětleností (Květen – Srpen)

| | Květen 2006 | | Červen 2006 | | Červenec 2006 | | Srpen 2006 | |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|
| lx | Počet bodů | % | Počet bodů | % | Počet bodů | % | Počet bodů | % |
| 0,01 - 0,1 | 12429,00 | 72,44 | 12970,00 | 80,06 | 16543,00 | 98,82 | 3553,00 | 49,35 |
| 0,1 - 0,2 | 4463,00 | 26,01 | 2760,00 | 17,04 | 197,00 | 1,18 | 2170,00 | 30,14 |
| 0,2 - 0,3 | 248,00 | 1,45 | 355,00 | 2,19 | 0,00 | 0,00 | 707,00 | 9,82 |
| 0,3 - 0,4 | 18,00 | 0,10 | 84,00 | 0,52 | 0,00 | 0,00 | 530,00 | 7,36 |
| 0,4 - 0,5 | 0,00 | 0,00 | 31,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 235,00 | 3,26 |
| 0,5 - 0,6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 0,06 |
| 0,6 - 5,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Součet | 17158,00 | 100,00 | 16200,00 | 100,00 | 16740,00 | 100,00 | 7199,00 | 100,00 |

Tab. 11.10 Roztřídění naměřených hodnot do jednotlivých pásem osvětleností (Říjen – Leden)

| | Říjen 2006 | | Listopad 2006 | | Prosinec 2006 | | Leden 2007 | |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| lx | Počet bodů | % | Počet bodů | % | Počet bodů | % | Počet bodů | % |
| 0,01 - 0,1 | 22350,00 | 64,54 | 16451,00 | 40,12 | 8948,00 | 22,34 | 12973,00 | 35,52 |
| 0,1 - 0,2 | 8251,00 | 23,83 | 13742,00 | 33,52 | 11792,00 | 29,44 | 14196,00 | 38,86 |
| 0,2 - 0,3 | 1752,00 | 5,06 | 6093,00 | 14,86 | 7304,00 | 18,24 | 5772,00 | 15,80 |
| 0,3 - 0,4 | 1292,00 | 3,73 | 1138,00 | 2,78 | 4153,00 | 10,37 | 1114,00 | 3,05 |
| 0,4 - 0,5 | 611,00 | 1,76 | 454,00 | 1,11 | 3469,00 | 8,66 | 228,00 | 0,62 |
| 0,5 - 0,6 | 141,00 | 0,41 | 835,00 | 2,04 | 1891,00 | 4,72 | 87,00 | 0,24 |
| 0,6 - 5,0 | 233,00 | 0,67 | 2287,00 | 5,58 | 2492,00 | 6,22 | 2157,00 | 5,91 |
| Součet | 34630,00 | 100,00 | 41000,00 | 100,00 | 40049,00 | 100,00 | 36527,00 | 100,00 |

Pokud uděláme základní jednoduché hodnocení rozdělením naměřených hodnot na dvě části, pak uvažujeme jako dělicí čáru hodnotu okolo 0,25 lx. Tato hodnota je obecně udávána jako osvětlenost vyvolaná Měsícem. Z toho vyplývá, že i v oblasti Ostravy je během nočních hodin tato hladina při dobrých rozptylových podmínkách překračována pouze minimálně, zatímco při nepříznivých meteorologických jevech (mlha, déšť, sněžení) je tato hladina překročena několikanásobně.

Vyhodnocení

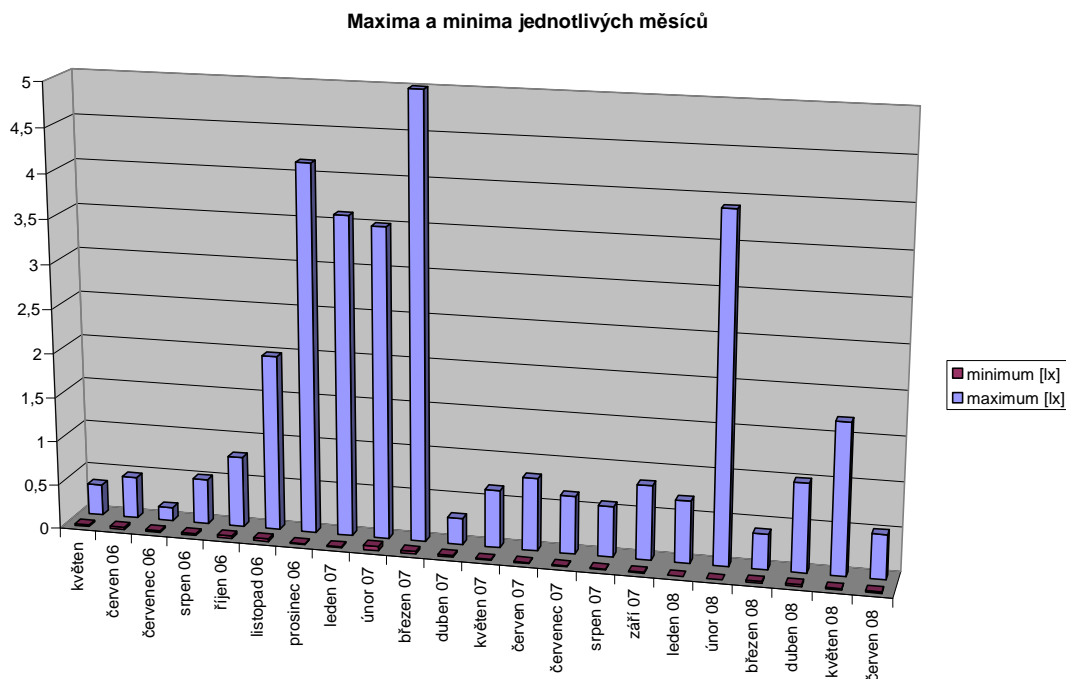
Dlouhodobá měření osvětleností v lokalitě Ostravska ukázala následující výsledky.

Nejnižší hodnoty v Ostravě byly naměřeny za jasných bezměsíčných nocí okolo hodnoty 0,02 lx. Ve srovnání s měřením osvětleností v oblasti ČR minimálně ovlivněné - na horním jezeře Přecherčavací vodní elektrárny Dlouhé Stráně při jasné a bezměsíčné noci došlo k zvýšení o jeden řád.

Z porovnání dílčích měření tedy vyplývá, že měsíce s nejvyšší naměřenou osvětleností jsou měsíce zimní a to především prosinec, leden a únor, kdy dosahujeme osvětleností i kolem 5 lx, zatímco nejmenší naměřené hodnoty mají měsíce letní tj. červenec, srpen a září, kdy nejvyšší hodnoty se pohybují kolem 0,15 lx viz Tab. 11.11.

Tab. 11.11 Maxima a minima příslušných měsíců

| Rok | Měsíc | maximum | minimum |
|------|----------|---------|---------|
| [-] | [-] | [lx] | [lx] |
| 2006 | Květen | 0,35 | 0,017 |
| 2006 | Červen | 0,47 | 0,024 |
| 2006 | Červenec | 0,15 | 0,02 |
| 2006 | Srpen | 0,51 | 0,02 |
| 2006 | Říjen | 0,8 | 0,03 |
| 2006 | Listopad | 1,98 | 0,03 |
| 2006 | Prosinec | 4,15 | 0,01 |
| 2007 | Leden | 3,6 | 0,01 |
| 2007 | Únor | 3,5 | 0,05 |
| 2007 | Březen | 5 | 0,03 |
| 2007 | Duben | 0,3 | 0,02 |
| 2007 | Květen | 0,65 | 0,01 |
| 2007 | Červen | 0,82 | 0,01 |
| 2007 | Červenec | 0,65 | 0,01 |
| 2007 | Srpen | 0,57 | 0,01 |
| 2007 | Září | 0,84 | 0,012 |
| 2008 | Leden | 0,7 | 0,001 |
| 2008 | Únor | 3,9 | 0,001 |
| 2008 | Březen | 0,4 | 0,019 |
| 2008 | Duben | 1 | 0,021 |
| 2008 | Květen | 1,7 | 0,015 |
| 2008 | Červen | 0,5 | 0,016 |



Obr. 11.15: Graf maxim a minim příslušných měsíců

Z výše uvedených výsledků je jasně patrné, že osvětlenosti, vyvolané jasem noční oblohy, se v nočních hodinách vlivem rušivého světla mění v rozsahu čtyř řádů. Naměřené osvětlenosti jsou závislé nejen na měřené lokalitě, ale také na meteorologických podmínkách.

Vezmeme-li v úvahu obecně známé limity pro osvětlenost, což je cca 0,25 lx, dojdeme k závěru, že i v oblasti Ostravska je tato limitní hodnota překračována pouze v cca 10 % času, a to pouze u zimních měsíců u měsíců s velkým obsahem srážek. U letních měsíců s minimálním počtem srážek a velkým procentem jasných nocí je tato hodnota překračována maximálně v několika procentech času.

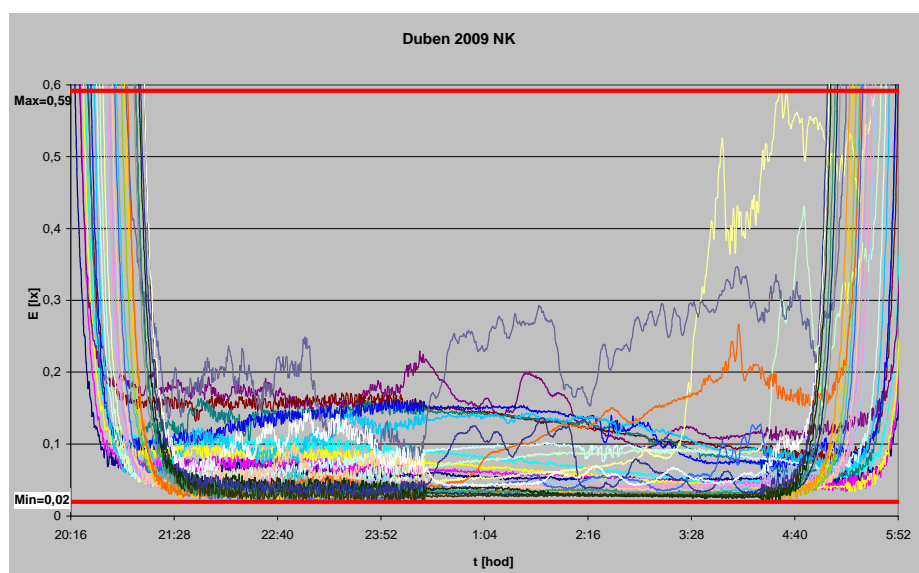
11.11.2. Srovnání měřících aparatur

Druhá měřící aparatura umístěná v obci Těškovice je využita pro měření v zeměpisně blízké oblasti Ostravy, která není ovlivněna (minimálně ovlivněna) rušivým světlem z blízkých aglomerací.

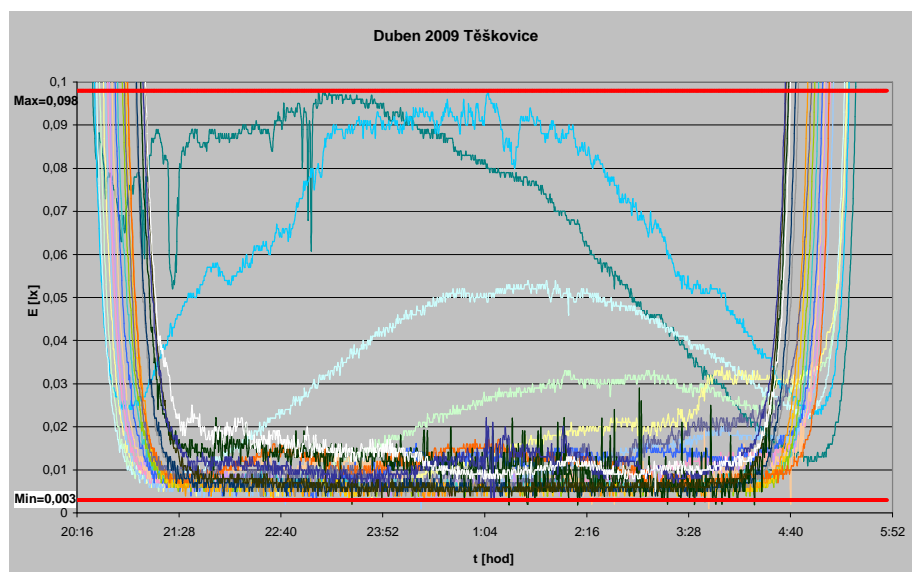


Obr. 11.16: Situační schéma obou měřicích aparatur

Na Obr. 11.17 jsou znázorněny průběhy jednotlivých nocí v měsíci dubnu 2009 měřené z budovy Nové knihovny v areálu VŠB-TU v Ostravě. Zatímco na Obr. 11.18 je tentýž měsíc, ale zaznamenávaný z obce Těškovice, vzdálené od prvního stanoviště cca 10 km (viz Obr. 11.16). Z obou grafů si můžeme všimnout, že maximální hodnota osvětleností je v obci Těškovice zhruba 6x nižší než v Ostravě. Proto se do budoucna počítá s rozšířením měřicích stanovišť, aby byla pokryta větší oblast a tím pádem bylo možné vyjádřit i závislost osvětleností na vzdálenosti od zdroje rušivého světla (města).



Obr. 11.17: Závislost nočních osvětleností na čase – Duben 2009 budova NK



Obr. 11.18: Závislost nočních osvětleností na čase – Duben 2009 Těškovice

Z Obr. 11.17 lze také vyčíst další velmi zajímavé informace, z nichž nejvíce zřetelná je ostrá změna chování osvětleností vždy ve 24 h a 4 h. Pokles osvětlení si vysvětlujeme regulací VO v ulici Okružní, která je od měřicího místa v průměru vzdálena cca 600 m a v areálu Vědecko – technologického parku vzdáleného od měřicího místa cca 900 m. V těchto časech totiž dochází ve výše zmíněných lokalitách k regulaci VO.

11.11.3. Statistické vyhodnocení naměřených dat

Z doposud naměřených dat byla provedena statistická analýza. Byly vyhodnoceny jednak data osvětleností bez příspěvku rušivého zdroje světla (světlo metu), tak byl vyhodnocen i vliv světlo metu. Poněvadž data získávaná z pobočky Českého hydrometeorologického ústavu v Ostravě-Porubě, (přesněji informace o stavu oblačnosti), jsou uváděna pouze ve dvou časech a to v 21 hodin a v 7 hodin, nelze na základě těchto dat vyhodnocovat naměřené osvětlenosti z hlediska „zátěženosti“ oblohy. Z tohoto důvodu jsou vyhodnocena pouze data naměřená během určitých meteorologických jevů, kdy je nám přesně známo v kolik hodin jev začal a kdy nastal jeho konec.

Při vyhodnocení statistické analýzy byly využity tyto základní veličiny:

- **aritmetický průměr** \bar{x} - jehož hodnotu získáme pomocí známého vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

(11.1.) kde: x_i ... jednotlivé hodnoty proměnné

n ... rozsah výběrového souboru (počet hodnot proměnné)

Vzhledem k tomu, že průměr se stanovuje ze všech hodnot proměnné, nese maximum informací o výběrovém souboru. Na druhé straně je však velmi citlivý na tzv. **odlehlá pozorování**, což jsou hodnoty, které se mimořádně liší od ostatních a dokáží proto vychýlit průměr natolik, že přestává daný výběr reprezentovat.

K identifikaci odlehlých pozorování se vrátíme později.

Pro podrobnější vyjádření rozložení hodnot proměnné v rámci souboru používáme statistiky nazývané **výběrové kvantily**.

- **výběrové kvantily** - jsou statistiky, které charakterizují polohu jednotlivých hodnot v rámci proměnné. Výběrové kvantily jsou rezistentní (odolné) vůči odlehlým pozorováním. Obecně je výběrový kvantil (dále jen kvantil) definován jako hodnota, která rozděluje výběrový soubor na dvě části – první z nich obsahuje hodnoty, které jsou menší než daný kvantil; druhá část obsahuje hodnoty, které jsou větší nebo rovny danému kvantilu. Pro určení kvantilu je proto nutné výběr uspořádat od nejmenší hodnoty k největší.

Kvantil proměnné X , který odděluje $100p\%$ menších hodnot od zbytku souboru, tj. od $100(1-p)\%$ hodnot, nazýváme **100p %-ním kvantilem** a značíme jej x_p .

Budeme zde používat tyto kvantily:

Dolní kvartil $x_{0,25}$ = 25%-ní kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 25% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 75% větších (nebo rovných))

Medián $x_{0,5}$ = 50%-ní kvantil (rozděluje datový soubor tak, že polovina (50%) hodnot je menších než medián a polovina (50%) hodnot větších (nebo rovných))

Horní kvartil $x_{0,75}$ = 75%-ní kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 75% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 25% větších (nebo rovných))

Minimum x_{\min} **a Maximum** x_{\max}

$x_{\min} = x_0$, tj. 0% hodnot je menších než minimum

$x_{\max} = x_1$, tj. 100% hodnot je menších než maximum

Až dosud jsme se zabývali převážně statistickými charakteristikami umožňujícími popis polohy proměnné, tj. mírami polohy. Průměr, stejně jako medián vyjadřuje pomyslný střed proměnné, neříká však nic o rozložení jednotlivých hodnot proměnné kolem tohoto středu, tj. o variabilitě proměnné. Je zřejmé, že čím

větší je rozptýlenost hodnot proměnné kolem jejího pomyslného středu, tím menší je schopnost tohoto středu reprezentovat celou proměnnou.

Následující tři statistické charakteristiky nám umožňují popis variability (rozptýlenosti) výběrového souboru, neboli popis rozptylu jednotlivých hodnot kolem středu proměnné – nazýváme je tedy mírami variability.

- **výběrový rozptyl s^2** - je nejrozšířenější mírou variability výběrového souboru. Určujeme jej podle vztahu:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (11.2.)$$

tzn. výběrový rozptyl je dán podílem součtu kvadrátů odchylek jednotlivých hodnot od průměru a rozsahu souboru sníženého o jedničku.

Nevýhodou použití výběrového rozptylu jakožto míry variability je to, že rozměr této charakteristiky je druhou mocninou rozměru proměnné. (Např. je-li proměnnou spotřeba uvedena v kWh, bude výběrový rozptyl této proměnné vyjádřen v kWh².) Tento nedostatek odstraňuje další míra variability, a tou je:

- **výběrová směrodatná odchylka s** - je definována jako kladná odmocnina výběrového rozptylu:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (11.3.)$$

Tab. 11.12 Statistické vyhodnocení jednotlivých meteorologických jevů

| | <i>Déšť</i> | <i>Déšť se sněhem</i> | <i>Dešťová přeháňka</i> | <i>Mlha</i> | <i>Mrholení</i> | <i>Sněhová přeháňka</i> | <i>Sněžení</i> |
|---------------------------|-------------|-----------------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Stř. hodnota | 0,24 | 0,23 | 0,16 | 0,57 | 0,44 | 0,15 | 1,25 |
| Chyba stř. hodnoty | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Medián | 0,20 | 0,24 | 0,13 | 0,37 | 0,43 | 0,12 | 0,87 |
| Modus | 0,30 | 0,25 | 0,08 | 0,71 | 0,42 | 0,10 | 0,19 |
| Směr. odchylka | 0,15 | 0,08 | 0,10 | 0,86 | 0,21 | 0,07 | 1,01 |
| Rozptyl výběru | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,73 | 0,05 | 0,01 | 1,02 |
| Špičatost | 2,90 | 1,14 | 18,02 | 11,03 | 1,37 | 15,99 | 0,08 |
| Šikmost | 1,64 | 0,15 | 2,72 | 3,35 | 0,06 | 3,64 | 0,99 |
| Rozdíl max-min | 1,02 | 0,28 | 1,33 | 4,68 | 0,72 | 0,54 | 4,65 |
| Minimum | 0,02 | 0,09 | 0,01 | 0,04 | 0,11 | 0,08 | 0,06 |
| Maximum | 1,04 | 0,36 | 1,34 | 4,72 | 0,83 | 0,62 | 4,71 |
| Součet | 6481,29 | 57,97 | 481,33 | 2219,46 | 940,04 | 119,80 | 5987,11 |
| Počet vzorků | 26513,00 | 251,00 | 3009,00 | 3928,00 | 2142,00 | 808,00 | 4801,00 |

Z Tab. 11.12 je patrné, že nejvyšších středních hodnot dosáhneme při sněžení, jelikož sněhové vločky rozptylují světelný tok jdoucí do horního poloprostoru v malé výšce nad čidlem luxmetru a tím pádem nám rapidně vzrůstá osvětlenost. Podobných hodnot osvětleností, ale již nižší, dosahujeme při mlze, která nám taktéž rozptyluje světelný tok a zvyšuje nám tím pádem osvětlenost. Střední hodnoty při dešti nebo mrholení se pohybují kolem hodnoty 0,3 lx. Nejnižších hodnot dosahujeme při přerušovaných meteorologických jevech, jako jsou sněhová či dešťová přeháňka, kdy se nám střídají hodnoty vyšších osvětleností (v okolí čidla k jevu dochází) a hodnoty s nižšími osvětlenostmi (v okolí čidla k jevu nedochází).

Jednotlivé průběhy statistického vyhodnocení při daných meteorologických jevech včetně krabicových grafů a rozložení naměřených hodnot viz Příloha č.12.

Tab. 11.13 Statistické vyhodnocení jednotlivých meteorologických jevů s vlivem světlometu

| Vliv světlometu - rozdíly v lx | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------|-----------------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------------------------|----------------|
| | <i>Déšť</i> | <i>Déšť se sněhem</i> | <i>Dešťová přeháňka</i> | <i>MLha</i> | <i>Mrholení</i> | <i>Sněhová přeháňka</i> | <i>Sněžení</i> |
| Stř. hodnota | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,56 | 0,20 | 0,05 | 0,22 |
| Chyba stř. hodnoty | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,07 | 0,04 | 0,01 | 0,02 |
| Medián | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,37 | 0,15 | 0,05 | 0,19 |
| Směr. odchylka | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,45 | 0,16 | 0,02 | 0,19 |
| Rozptyl výběru | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,03 | 0,00 | 0,03 |
| Špičatost | 14,00 | 1,28 | 0,36 | 2,23 | 5,14 | 3,95 | 4,56 |
| Šikmost | 2,80 | 0,16 | 0,61 | 1,54 | 2,12 | 1,82 | 1,80 |
| Rozdíl max-min | 0,45 | 0,05 | 0,08 | 1,84 | 0,67 | 0,05 | 0,95 |
| Minimum | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,02 |
| Maximum | 0,45 | 0,07 | 0,10 | 1,89 | 0,72 | 0,09 | 0,98 |
| Součet | 26,55 | 0,36 | 2,18 | 20,88 | 3,57 | 0,38 | 21,10 |
| Počet | 350,00 | 7,00 | 40,00 | 37,00 | 18,00 | 7,00 | 98,00 |

Dále byl zpracován vliv světlometu (definovaného zdroje rušivého světla viz kap. 8.1.2). Data byla vyseparována tak, že nám zůstaly údaje těsně před vypnutím světlometu a hned po jeho vypnutí. Byl proveden rozdíl těchto dvou hodnot a výsledné údaje byly statisticky zpracovány viz Tab. 11.13. Tato tabulka nám udává vliv tohoto definovaného zdroje rušivého světla v luxech. Je zde vidět kolik luxů nám přidá jednotlivý meteorologický jev. Největších rozdílů dosahujeme při mlze a při sněžení kdy nám dochází k rozptýlu světla v malých výškách nad povrchem, respektive nad čidlem luxmetru, zatím co nejmenší difference naměříme při přerušovaných meteorologických jevech, jakož jsou sněhové nebo dešťové přeháňky.

Jednotlivé grafické výstupy statistického vyhodnocení při daných meteorologických jevech s vlivem světlometu viz Příloha č.13.

Tab. 11.14 Statistické vyhodnocení jednotlivých meteorologických jevů s vlivem světlometu

| Vliv světlometu - rozdíly v % | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|----------------|
| | <i>Déšť</i> | <i>Déšť se sněhem</i> | <i>Dešťová přeháňka</i> | <i>mlha</i> | <i>Mrholení</i> | <i>Sněhová přeháňka</i> | <i>Sněžení</i> |
| Stř. hodnota | 22,45 | 20,82 | 30,02 | 44,07 | 27,04 | 30,14 | 17,41 |
| Chyba stř. hodnoty | 0,45 | 1,48 | 1,80 | 3,55 | 2,02 | 3,63 | 1,16 |
| Medián | 21,89 | 22,12 | 28,03 | 35,81 | 25,35 | 30,32 | 13,38 |
| Směr. odchylka | 8,48 | 3,91 | 11,40 | 21,59 | 8,57 | 9,60 | 11,50 |
| Rozptyl výběru | 71,87 | 15,30 | 130,00 | 466,25 | 73,44 | 92,15 | 132,22 |
| Špičatost | 0,98 | 0,24 | 0,55 | 0,96 | 0,11 | 1,84 | 0,79 |
| Šikmost | 0,32 | 1,03 | 0,45 | 0,54 | 0,83 | 0,26 | 0,63 |
| Rozdíl max-min | 52,08 | 11,06 | 44,63 | 72,79 | 29,61 | 31,92 | 42,75 |
| Minimum | 0,00 | 13,94 | 10,92 | 12,70 | 16,83 | 14,86 | 2,16 |
| Maximum | 52,08 | 25,00 | 55,56 | 85,49 | 46,44 | 46,77 | 44,91 |
| Součet | 7857,77 | 145,77 | 1200,73 | 1630,56 | 486,67 | 210,99 | 1706,11 |
| Počet | 350,00 | 7,00 | 40,00 | 37,00 | 18,00 | 7,00 | 98,00 |

Procentuální vliv světlometu (definovaného zdroje rušivého světla viz kap. 8.1.2) při meteorologických jevech nám znázorňuje Tab. 11.14. Je z ní patrné kolik procent nám přidá, na naměřených hodnotách osvětlenosti, jednotlivý meteorologický jev. Největších rozdílů dosahujeme při mlze, kdy nám dochází k rozptylu světla v malých výškách nad povrchem, respektive nad čidlem luxmetru, zatím co nejmenší difference naměříme při přerušovaných meteorologických jevech, jakož jsou sněhové nebo dešťové přeháňky.

Jednotlivé grafické výstupy statistického vyhodnocení při daných meteorologických jevech s vlivem světlometu viz Příloha č.14.

Vyhodnocení

Z provedené statistické analýzy vyplývá, že nejvyšších osvětleností na okraji velké aglomerace (Ostravy) dosahujeme při sněžení a mlze. V tomto případě dochází k rozptylu a odrazu světla zpět k zemi v malých výškách nad povrchem. Maximální hodnoty se v těchto případech blíží k hranici 5 luxů. V případech, kdy meteorologický jev není konstantní a dochází ke změnám jeho intenzity, tak se maximální osvětlenosti pohybují přibližně kolem hodnoty 0,5 lx.

Zpracovávání takto naměřených dat při jiných meteorologických podmínkách je velice komplikované, neboť nám naměřené hodnoty osvětleností ovlivňuje celá řada faktorů. Především jde o proměnlivou oblačnost, výšku oblačnosti, složení atmosféry a rozptylové podmínky.

Pro detailnější vyhodnocení a následné upřesnění relativní stupnice rušivého světla noční oblohy viz Tab. 9.1 bude vhodné umístit jednu měřicí aparaturu co nejblíže meteorologické stanici, která v krátkých pravidelných časových intervalech zaznamenává data o „zataženosti“ oblohy, výšce oblačnosti a dalších důležitých údajích týkajících se meteorologické situace v daném místě.

12. Empirický výzkum působení rušivého světla na obyvatele

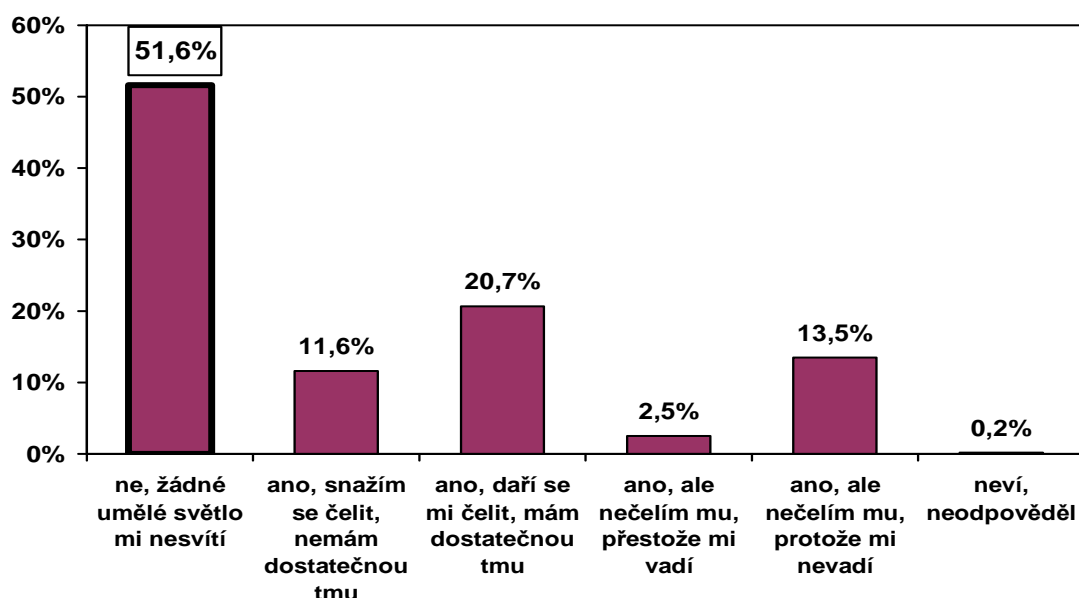
Jedná se o statistické šetření na vzorku obyvatelstva. Lze takto zjistit přibližný rozsah problému a názor veřejnosti na tuto problematiku.

Jako příklad lze uvést výzkum provedeným agenturou FOCUS v listopadu a prosinci roku 2003 [8], kterého se zúčastnilo 1020 osob a jehož závěry jsou následující:

- 48,2 % dotázaných uvedlo, že jim do místnosti, kde obvykle spí, svítí umělé světlo z venku
- 13,2 % z 380 dotázaných uvedlo, že mají potíže se spánkem a dávají za příčinu těchto problémů umělé světlo z venku

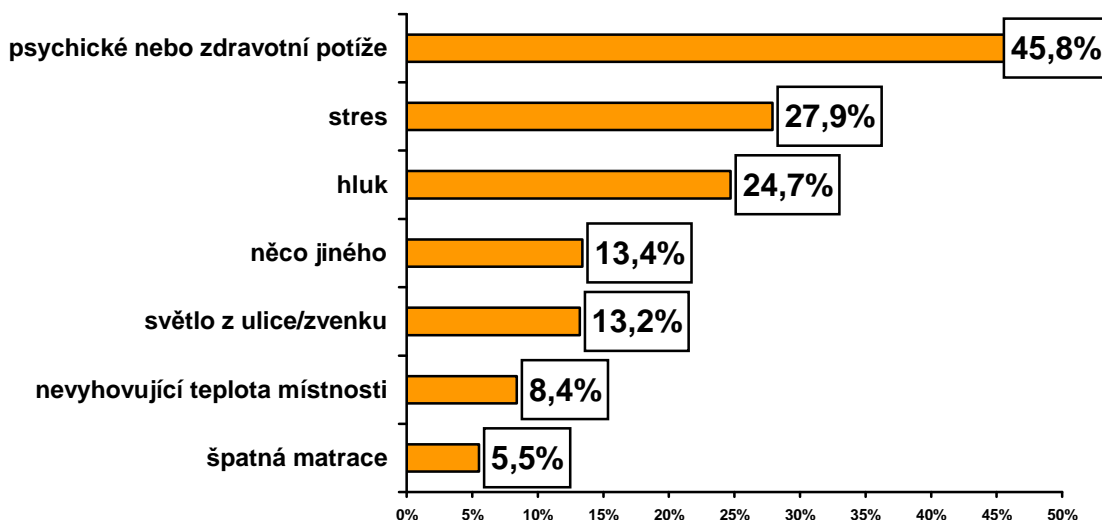
Respondenti byli vybíráni z celé ČR v souladu se sociodemografickým rozvrstvením obyvatelstva. Celkem bylo uskutečněno 1020 rozhovorů, získaná data byla vícefaktorově převážena na soubor 1067 osob. Převážením dat je dosaženo důsledné reprezentativnosti výběrového souboru ve vztahu k základnímu souboru (tj. populaci České republiky). Vzorek 1020 obyvatel lze podle statistických vyhodnocení zobecňovat na vzorek populace ČR starší 18-ti let s poměrně malou odchylkou od skutečnosti. Tyto údaje ukazují, že problém rušivého světla by neměl být opomíjen, neboť se dotýká takřka poloviny dotázaných.

Následující grafy dokreslují závěry publikace:



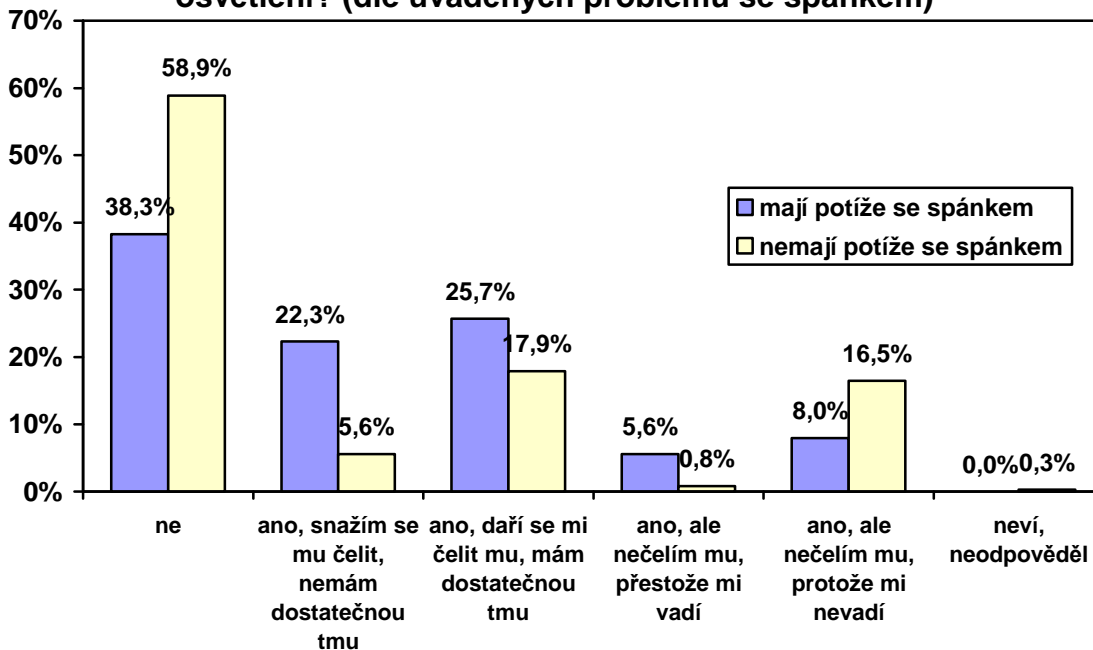
Obr. 12.1: Svítí vám do místnosti, kde obvykle spíte, umělé osvětlení?

**Příčina potíží se spánkem - respondenti mohli uvést max. 2
nejdůležitější důvody (pouze ti, kdo mají potíže se spánkem -
380 dotázaných)**



Obr. 12.2: Příčina potíží se spánkem

**Svítlí vám do místnosti, kde obvykle spíte, umělé
osvětlení? (dle uváděných problémů se spánkem)**



Obr. 12.3: Vliv umělého osvětlení na potíže se spánkem

Poslední uvedený graf (Obr. 12.3) ukazuje, že lidé, jimž do místnosti, kde obvykle spí, svítí umělé osvětlení, které jim vadí, mají častěji potíže se spánkem. Je tedy vhodné v zájmu zlepšení kvality života obyvatel měst omezit pronikání umělého světla do místností obytných domů, například vhodně zvolenými reflektory svítidel a vhodným umístěním a cloněním svítidel. Kriteria mezní hodnoty světelného přesahu vyplívají z výše uvedených předpisů CIE (viz kap. 3.1.1).

13. Závěr

Rušivé světlo, označované někdy jako „světelné znečištění“ je civilizačním fenoménem poslední doby, který byl díky své mediální prezentaci zakotven i do zákona [9]. Tím se stala Česká republika první zemí, kde doporučení k omezení rušivého světla nabývá právní podstaty. Finální verze zákona neobsahuje žádné limity pro rušivé světlo. Dle litery tohoto zákona mohou obce pouze vydat obecně závaznou vyhlášku, kterou mohou zakázat promítání světelných reklam a efektů na oblohu [8].

V poslední době je ovšem na základě požadavku místních samospráv nebo stavebních úřadů investor, provozovatel či správce osvětlovacích zařízení nucen zajistit (pro nové i stávající osvětlovací soustavy) studii jejich vlivu na okolí.

Prvním cílem disertační práce bylo sjednocení jednotlivých vazeb mezi astronomickými a světelně – technickými jednotkami a dále sestavení fyzikálních a astronomických metod měření a následné modelování jasů noční oblohy. V rámci této etapy jsou sestaveny fyzikální a astronomické metody, kterými se v současné době měří a vyhodnocují jasy noční oblohy v astronomických observatořích a planetáriích. Dále zde jsou uvedeny možnosti využití světelně-technických metod pro zjišťování jasů noční oblohy.

Dalším úkolem disertační práce bylo proto sestavení průměrné křivky svítivosti a na základě takto vytvořené křivky určit podíl přímého světelného toku jdoucího z průměrného svítidla do horního poloprostoru. Velmi důležité je zjištění, že současné (průměrné) osvětlovací soustavy veřejného osvětlení vyzařují primárně (neodražený světelný tok) pouze mírně přes 2% celkového světelného toku jdoucího ze svítidel do horního poloprostoru. Celkový světelný tok jdoucí do horního poloprostoru, se skládá z přímé a nepřímé (odražené) složky. Velikost nepřímé složky je velmi významná a může mít v některých případech větší vliv na velikost závoje jasů než složka přímá, kde ovlivňuje pozorovací podmínky astronomů a ovlivňuje i množství světla, které se od oblohy (zejména zatažené) vrátí zpět k zemi. Toto světlo může pak nepříznivě ovlivnit noční prostředí. Proto by se odražená složka neměla zanedbávat.

Hlavním cílem disertační práce bylo zpracování a následné vyhodnocení statistické analýzy na základě provedení řady praktických experimentů, sloužících pro ověření teoretických předpokladů. Jde především o stanovení detailnější stupnice rušivého světla noční oblohy. Tato relativní stupnice může být použitelná i ke sdělení v rámci mediální tzv. předpovědi počasí, protože umožňuje z předpovídané oblačnosti a srážek (případně dalších meteorologických jevů) předpovědět také to, jak „tmavé“ budou následující noci. To může být informace cenná nejen pro obdivovatele krás nočního nebe, ale v případě vysoké oblačnosti, také pro osoby citlivé na množství rušivého světla při spánku.

Experimenty byly provedeny jednak v oblastech ovlivněných rušivým světlem (městské aglomerace) a také v oblastech takřka neovlivněných rušivým světlem (venkov či chráněné přírodní oblasti).

Výsledky zpracované v této části opět ukazují na fakt, že proměnlivá oblačnost je hlavním problémem k určení vlivu jak VO tak i jiných zdrojů rušivého světla na jas noční oblohy. Nicméně i z těchto výsledků je patrné, že rozdíly jasu noční oblohy se při zapnutém VO a vypnutém VO pohybují okolo 70%. V extrémních případech až 90% (venkovské oblasti, kde je dominantním zdrojem rušivého světla pouze VO) a naopak i minimální rozdíl (10%) v oblastech, kde jsou jasy noční oblohy výrazně ovlivněny obchodními a průmyslovými centry.

Jednotlivé etapy disertační práce budou sloužit pro tvorbu souboru pravidel hodnocení a opatření pro omezení projevů rušivého světla.

13.1 Přínos disertační práce a doporučení pro další postup ve výzkumu

Disertační práce se zabývá problematikou, která v oblasti České republiky není zatím dostatečně prozkoumána. Přináší především nové poznatky z rozsáhlých experimentů a následných statistických vyhodnocení rušivého světla.

Mezi přínosy této disertační práce lze zařadit:

- Sjednocení jednotlivých vazeb mezi astronomickými a světelně – technickými jednotkami.
- Sestavení modelu vzorové křivky svítivosti.
- Z poznatků získaných při experimentech stanovení podílu jednotlivých zdrojů rušivého světla.
- Provedení statistického vyhodnocení z dlouhodobých měření osvětleností.
- Na základě statistického vyhodnocení sestavení pětidílné relativní stupnice rušivého světla noční oblohy.

Na základě těchto výsledků je možné doporučit další postup ve výzkumu této problematiky:

- Sestavení souboru pravidel hodnocení a opatření pro omezení projevů rušivého světla.
- Rozšíření měřicích stanovišť do dalších lokalit pro detailnější informace o rušivém světle.
- Další zpřesnění a možnost používání pětidílné relativní stupnice rušivého světla v ČHMI.

Seznam použité literatury

- [1] CIE 150:2003 - „Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations”
- [2] CIE 126:1997 - „Guidelines for minimizing sky glow“
- [3] ČSN CEN/TR 132 01-1 Osvětlení pozemních komunikací, Část 1: Výběr tříd osvětlení
- [4] ČSN EN 132 01-2 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky
- [5] ČSN EN 132 01-3 Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet
- [6] ČSN EN 132 01-4 Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Měření
- [7] ČSN EN 132 01-2 ZMĚNA Z1: Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky
- [8] Sokanský K. a kol., Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí, MMR ČR, WB-23-05, 2005-2006
- [9] Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění zákona č. 521/2002 Sb.
- [10] Association française de l'éclairage, Outdoor lighting - Light Nuisance, 2004
- [11] Dostál F., Měření a vyhodnocování rušivého světla, diplomová práce, VŠB-TU Ostrava 2007
- [12] PROCEEDINGS of CIE 2010 „Lighting quality and energy efficiency“, Vienna 2010
- [13] Hroch F., Munipack, Institute of Theoretical Physics and Astrophysics, Masaryk University, Brno, Dostupné z < <http://integral.physics.muni.cz/munipack/> >
- [14] Cinzano P.: Books about light pollution,
Dostupné z < <http://www.lightpollution.it/indexen.html> >
- [15] Znojil V.: International Meteor Organization,
Dostupné z < <http://www.imo.net/files/data/brno/> >
- [16] Instantní astronomické noviny, Dostupné z < <http://archiv.ian.cz/data/317.htm> >
- [17] Bortle's John.: Dark Sky Scale
Dostupné z < <http://www.frostydwere.org/observatory/columns/essays/bortle.htm> >
- [18] David S., Linda A. Schuler : A Photographic Method for Measuring Sky Glow, Dostupné z < <http://darkskywisconsin.uwex.edu/about/publications/Measuring%20Skyglow.pdf> >
- [19] Česká astronomická společnost, Dostupné z < <http://www.astro.cz/clanek/> >
- [20] Fellin, Rossi, P.: Public Lighting Analysis of Environment and Energy Conversation, CIE San Diego, 2003
- [21] Sokanský, K. a kol. 26TH SESSION OF THE CIE, 4 JULY - 11 JULY 2007, Beijing
- [22] Hladký L.; Posouzení možností omezení znečišťování prostoru světlem, Diplomová práce, Ostrava: VŠB-TUO, 2004
- [23] Kolektiv autorů FEI: Rušivé světlo aneb světelné znečištění, CD-ROM 2006
- [24] Baxant P.; Jak budeme měřit “světelné znečištění” [on-line]. Brno: FEKT VUT v Brně, Ústav elektroenergetiky. Dostupné na < <http://www.dql.cz/texty/mereni.htm> >
- [25] Mikulášek, Z.: Úvod do fyziky hvězd a hvězdných soustav, Skripta PřF MU Brno 2000
- [26] Sokanský, K., Maixner, T., Novák, T.: Rušivé světlo v ČR, mezinárodní konference SVĚTLO 2008, Ostrava, 2008
- [27] Indalux Iluminacion Technica, S.L., Lighting Engineering 2002, Spain 2002
- [28] Darula, S., Oberman, P.: Jas okna v noci, Kurz osvětlovací techniky XXVII, 2009

- [29] Kocifaj M.: Astronomical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Dostupné z < <http://astro.savba.sk/~kocifaj/> >
- [30] Cinzano P.: Brightness
Dostupné z < <http://www.lightpollution.it/download/iau06cinzano.pdf> >
- [31] Nařízení Komise (ES) č. 245/2009 ze dne 18. března 2009, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign zářivek bez integrovaného předřadníku, vysoce intenzivních výbojek a předřadníků a svítidel, jež mohou sloužit k provozu těchto zářivek a výbojek, a kterým se zrušuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/55/ES
- [32] Fotografie z expedice 26. posádky na palubě Mezinárodní kosmické stanice ze dne 28. prosince 2010 Dostupné z < <http://www.nasa.gov> >
- [33] CIE, TC 4-21, DRAFT PUBLICATION - „Guide for minimizing sky glow“
- [34] ČSN EN 12464-2, Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory
- [35] Vyhláška 137/98 - Vyhláška o obecných technických požadavcích na výstavbu
- [36] Association française de l'éclairage, Outdoor lighting – Light Nuisance, 2004
- [37] Kohei N., Schreuder D.: Light pollution handbook: Springer, 2004
- [38] Maixner, T.: Vyhodnocení environmentálních účinků venkovních osvětlovacích soustav v podmínkách územního celku Libereckého kraje, Jablonec nad Nisou 2010
- [39] ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť

Seznam projektů na kterých autor spolupracoval:

1. Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí, Ministerstvo místního rozvoje ČR, WB-23-05, 2005-2006
2. Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí, MMR - WB-23-05, 2005-2006
3. Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav. MPO: 222004 7207, 2007-2007
4. Národní konference s mezinárodní účastí „Světlo 2007“. MPO: 222004 7104, 2007-2007
5. Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR. ČSO - Regionální skupina Ostrava, 2007
6. Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav, MPO - 222004 7207, 2007
7. Národní konference s mezinárodní účastí Světlo 2007, MPO - 222004 7104, 2007
8. Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR, MPO - 222004 7305, 2007
9. Propagace úsporných opatření v oblasti veřejného osvětlení ve městech a obcích, MPO - 122142-8116, 2008
10. INGE Opava, HS451809, 2008
11. Výzkum rušivých účinků umělého venkovního osvětlení. GAČR:102/09/1986, 2008-2009
12. Světelné znečištění v podmínkách Slovenské a České republiky, MEB 080857, 2008-2009
13. Pasport VO v Ostravě, Statutární město Ostrava, HA451906, 2009-2010

Seznam publikací autora:

ISI Web of Knowledge:

1. Dostál, F., Sokanský, K., Novák, T.: Long-term measurement of obtrusive light in campus VŠB-TUO. Sborník *EPE 2009*, Ostrava:VŠB-TUO, 2009, ISBN 978-80-248-1947-1
2. Dostál, F., Novák, T.: *Obtrusive light measurement*, Časopis *Przegląd elektrotechniczny*, 2008, 50-53, ISSN 0033-2097
3. Novák, T., Sokanský, K., Dostál, F.: Public Lighting Part Measurement for Night Sky Glare Increasing before and after Switching off Big Area (Liberec District in the Czech Republic) Sborník *EPE 2010*, Brno 2010, ISBN 978-80-214-4094-4

CIE konference:

4. Novák, T., Dostál, F., Závada P.: Obtrusive light measurement, Sborník CIE 2010, 14.-17.3.2010., Vienna, PROCEEDINGS of CIE 2010 „Lighting Duality and Energy Efficiency“, Austria, 2010, ISBN 978-3-901906-83-1
5. Sokanský, K., Novák, T., Dostál, F.: Public lighting part measurement for night sky glare increasing before and after switching off a big area (Liberec district in the Czech Republic), Sborník CIE 2010, 14.-17.3.2010., Vienna, PROCEEDINGS of CIE 2010 „Lighting Duality and Energy Efficiency“, Austria, 2010, ISBN 978-3-901906-83-1

Zahraniční a tuzemské konference:

6. Dostál, F., Novák, T.: Měření rušivého světla v areálu VŠB – TU Ostrava - pokračování Sborník *Kurz osvětlovací techniky XXV*, Ostrava:VŠB-TUO, 2007, 348, VŠB-TUO, ISBN 978-80-248-1579-4
7. Dostál, F., Kolář, V., Novák, T.: Automatizované pracoviště goniofotometru. Sborník *Kurzu osvětlovací techniky XXVI.*, Ostrava:VŠB-TUO, 2008, 128-133, ISBN 978-80-248-1851-1
8. Novák, T., Dostál, F.: Dlouhodobé měření rušivého světla v areálu VŠB-TUO. Sborník *Kurz osvětlovací techniky XXVI.*, Ostrava:VŠB-TUO, 2008, 186-192, ISBN 978-80-248-1851-1
9. Dostál, F., Kolář, V., Novák, T.: Měření rušivého světla v městském prostředí. Sborník *XXXIX. Sešit katedry elektrotechniky*, Ostrava:VŠB-TUO, 2008, 95-99, ISBN 978-80-248-1786-6

10. Dostál, F.: *Obtrusive light*, Ostrava:, VŠB-TUO, 2008, ISBN 978-80-248-1851-8
11. Dostál, F., Sokanský, K.: *Obtrusive light. Sborník Wofex 2008*, Ostrava:VŠB-TUO, 2008, 76-81, ISBN 978-80-248-1807-8
12. Dostál, F., Sokanský, K., Novák, T., Žwak, Z.: Příklady měření jasů oblohy ve vybraných lokalitách. Sborník *Kurzu osvětlovací techniky XXVI.*, Ostrava:VŠB-TUO, 2008, 287-293, ISBN 978-80-248-1851-1
13. Dostál, F., Novák, T.: Statistické vyhodnocení parametrů VO měst a obcí. Sborník *Techniky osvětlování XXIII.*, Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2008, 100-104, ISBN 978-80-7043-673-8
14. Dostál, F., Novák, T.: Statistické vyhodnocení parametrů VO měst a obcí v ČR. Sborník *konference Slovalux 2008*, Banská Bystrica:Slovenská svetelnotechnická spoločnosť , 2008
15. Kolář, V., Novák, T., Dostál, F.: Automatizované pracoviště goniofotometru. Sborník *semináře Sekel 2008*, Košice:Technická univerzita Košice, 2008, 81-84, ISBN 978-80-553-0065-8
16. Kolář, V., Novák, T., Dostál, F.: Měření rušivého světla v městském prostředí. Sborník *konference Slovalux 2008*, 2008
17. Dostál, F.: Long-term Measurement of Obtrusive Light in Campus VŠB-TUO and Village Těškovice. Sborník *WOFEX 2009.*, Ostrava:VŠB-TUO, 2009, 42-47, ISBN 978-80-248-2028-6
18. Dostál, F., Novák, T., Sokanský, K.: MĚŘENÍ RUŠIVÉHO SVĚTLA V AREÁLU VŠB-TUO. Sborník *EEE 2009, 27.-29.5.2009.*, Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2009, 8, ISBN 978-80-89402-08-3
19. Dostál, F., Novák, T., Sokanský, K.: Město a jeho vliv na hodnoty osvětlení v nočních hodinách. Sborník *Kurz osvětlovací techniky XXVII*, Ostrava:VŠB-TUO, 2009, 30-36, ISBN 978-80-248-2087-3
20. Dostál, F., Novák, T., Sokanský, K.: VLIV MĚSTSKÉ AGLOMERACE NA HODNOTY OSVĚTLENÍ V NOČNÍCH HODINÁCH. Sborník *SVĚTLO 2009.*, Bratislava:, 2009, 8 s, ISBN 978-80-969403-7-0
21. Novák, T., Sokanský, K., Závada Petr, Dostál, F.: Měření rušivého osvětlení, Sborník *XLI. sešit katedry elektrotechniky, 17.6.2009*, Ostrava:VŠB-TU Ostrava, 2009, 113-116, ISBN 978-80-248-2020-0
22. Novák, T., Závada Petr, Dostál, F., Sokanský, K.: Rušivé světlo v podmínkách Slovenské a České republiky. Sborník *EEE 2009, 27.-29.5.2009*, Bratislava: STU v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2009, ISBN 978-80-89402-08-3

23. Sokanský, K., Novák, T., Závada, P., Dostál, F., Diviš, D.: *Krajina posedlá tmou aneb vypnuté veřejné osvětlení*. Časopis SVĚTLO, 2009, 48-50, ISSN 1212-0812
24. Závada, P., Dostál, F., Sokanský, K., Novák, T.: *RUŠIVÉ SVĚTLO V PODMÍNKÁCH SLOVENSKÉ A ČESKÉ REPUBLIKY*, Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2009, ISBN 978-80-89402-08-3
25. Sokanský, K., Látal, J., Koudelka, P., Vašínek, V., Dostál, F.: Possible use of power LEDs for lighting and communication. Sborník *LUMEN V4*, Ostrava:, 2010, 115-118, ISBN 978-80-248-2247-1
26. Mišák, S., Šnobl, J., Dostál, F.: Power solutions for emergency lighting of tunnels, underpasses and ecoduct.. Sborník *LUMEN V4*, Ostrava:VŠB-TU Ostrava, 2010, 142-144, ISBN 978-80-248-2247-1
27. Sokanský, K., Vitásek, J., Koudelka, P., Látal, J., Dostál, F., Vašínek, V.: Indoor optical free space networks – reflectivity of light on building materials. Sborník *LUMEN V4*, Ostrava:, 2010, 244-247, ISBN 978-80-248-2247-1
28. Sokanský, K., Koudelka, P., Látal, J., Vašínek, V., Dostál, F.: *Research of power LEDs for mobile communication*, Sborník *LUMEN V4*, Ostrava:, 2010, 104-107, ISBN 978-80-248-2247-1

